



TESIS (RM 2702)

# **STUDI EKSPERIMENTAL PENGGUNAAN REFRIGERAN-ABSORBEN (R22-DMF) PADA PERFORMANSI SIKLUS REFRIGERASI ABSORPSI DIFFUSI**

Oleh:  
I Nengah Ardita  
NRP. 2105 202 007

Dosen Pembimbing:  
Prof.Dr.Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2008



THESIS (RM 2702)

# **EXPERIMENTAL STUDY THE USE OF REFRIGERANT-ABSORBENT PAIR (R22-DMF) ON A DIFFUSION ABSORPTION REFRIGERATION CYCLE PERFORMANCE**

By:  
I Nengah Ardita  
2105 202 007

Supervisor:  
Prof.Dr.Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

MASTER PROGRAM  
SUB. DEPARTMENT OF ENERGY CONVERSION  
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
FAKULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2008



Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:  
I Nengah Ardita  
Nrp. 2105 202 007

Tanggal Ujian: 30 Januari 2008  
Periode Wisuda: Maret 2008

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng. (Pembimbing)  
NIP. 130 781 348

2. Ir. Budi Utomo Kukuh Widodo, ME (Penguji)  
NIP. 130 936 833

3. Ir. Sudjud Darsopuspito, MT (Penguji)  
NIP. 130 541 834

4. Ir. Astu Pudjanarsa, MT (Penguji)  
NIP. 131 792 561

Direktur Program Pascasarjana,

**Prof. Dr.Ir. Suparno, MSIE**  
NIP 130 532 035



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadapan Tuhan Yang Mahaesa, atas rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini dengan baik. Adapun judul Tesis yang penulis kerjakan adalah "Studi Eksperimental Penggunaan Refrigeran-Absorben (R22-DMF) pada Performansi Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi".

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Magister Teknik di bidang Teknik Mesin di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam penyelesaian Tesis ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan yang berbahagia ini, penulis tak lupa menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1 Bapak, Prof.Dr.Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tesis ini
- 2 Bapak, Dr.Eng.Ir. Prabowo, M.Eng, selaku dosen wali
- 3 Bapak, Dr.Ing. I Made Londen Batan, M.Eng, selaku koordinator Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- 4 Bapak, Dr.Ing. Herman Sasongko, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- 5 Bapak, Prof.Dr.Ir. Suparno, MSIE, selaku Direktur Program Pascasarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- 6 Bapak-bapak dosen yang telah memberikan segenap ilmu yang tidak ternilai
- 7 Bapak, Yoyok yang telah banyak membantu dalam pengerjaan peralatan eksperimen di Lab. Pendingin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

- 8 Segenap Keluarga tercinta yang telah memberikan spirit dan motivasi serta waktunya yang tak ternilai
- 9 Rekan-rekan se angkatan 2005 atas kerjasamanya yang baik selama ini.

Penulis menyadari tiada gading yang tak retak, untuk itu kritik dan saran sangat penulis harapkan demi penyempurnaan Tesis ini. Akhir kata penulis berharap Tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, Pebruari 2008

Penulis.

**STUDI EKSPERIMENTAL  
PENGUNAAN REFRIGERAN-ABSORBEN (R22-DMF)  
PADA PERFORMANSI SIKLUS REFRIGERASI  
ABSORPSI DIFFUSI**

Nama mahasiswa : I Nengah Ardita  
NRP : 2105 202 007  
Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

**ABSTRAK**

Pasangan refrigeran  $\text{NH}_3$ -air yang digunakan pada siklus refrigerasi absorpsi terdapat beberapa kelemahan diantaranya; beracun, mudah terbakar dan korosif terhadap bahan. Dengan adanya kekurangan ini, dimasa depan diharapkan pasangan refrigeran-absorben (*R22-organic solvent*) dapat menggantikan fungsinya. Namun sampai sekarang penelitian tentang penggunaan *R22-organic solvent* pada siklus refrigerasi absorpsi belum banyak dilakukan, bahkan pada siklus refrigerasi absorpsi diffusi belum ada yang melakukannya.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji performansi dari penggunaan pasangan refrigeran-absorben (R22-DMF) pada siklus refrigerasi absorpsi diffusi (*diffusion absorption refrigeration cycle*). Penelitian ini dilakukan mulai dari perencanaan peralatan kemudian melakukan eksperimen, untuk mengetahui pengaruh beberapa parameter seperti; variasi besarnya energi panas yang masuk generator, perubahan efek refrigerasi dan konsentrasi larutan yang masuk ke sistem terhadap COP (*coefficient of performance*) sistem. Variasi konsentrasi larutan yang digunakan pada penelitian ini adalah; 0,5; 0,6; 0,7 dan 0,8 terhadap massa. Energi panas yang disuplai ke generator juga divariasikan dengan mengatur *voltage regulator* pada range tegangan (140 – 230) volt.

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan bahwa besaran COP sistem sangat sensitif terhadap perubahan konsentrasi larutan yang masuk ke sistem dan perubahan laju energi panas yang disuplai ke generator ( $\dot{Q}_{gen}$ ). COP maksimum yang dapat dicapai pada eksperimen ini adalah sebesar 0,15 pada konsentrasi larutan 0,7. Cooling load maksimum yang dapat dicapai sebesar 54,5 watt pada konsentrasi larutan 0,6. Dari hasil eksperimen, dapat direkomendasikan bahwa konsentrasi optimum larutan yang masuk ke sistem adalah (0,65 – 0,7).

Kata Kunci: *Diffusion absorption refrigeration cycle*, R22-DMF dan COP





# **EXPERIMENTAL STUDY THE USE OF REFRIGERANT ABSORBENT PAIR (R22-DMF) ON A DIFFUSION ABSORPTION REFRIGERATION CYCLE PEFORMANCE**

By : I Nengah Ardita  
Student Identity Number : 2105202007  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

## **ABSTRACT**

NH<sub>3</sub>-water refrigerant-absorbent pair used on absorption refrigeration cycle has some weakness, such as toxic, flammable and corrosive to materials. Concerning this weakness, in future refrigerant-absorbent pairs (R22-organic solvents) are hoped to be able to replace it function. However research on the using of R22-organic solvents on absorption refrigeration cycle has not been widely carried out until recent time. Research on diffusion absorption refrigeration cycle has not even been done yet.

This research is carried out to analyze performance of the using of refrigerant-absorbent pair (R22-DMF) on a diffusion absorption refrigeration cycle. The research was started with devices planning and followed by experiment making in order to know impact of some parameter such as variation of heat energy entering generator, change of refrigeration effect as well as solution concentration entering system toward coefficient of performance system. Variations of solution concentration used in this research are 0.5, 0.6, 0.7 and 0.8. Heat energy supplied to generator is also varied by adjusting voltage regulator in voltage range of 140-230 volt.

The research shows that COP system is very sensitive to solution concentration changes entering system and changes of supplied heat energy to generator ( $Q_{gen}$ ). Maximum COP which can be achieved in this experiment is 0.15 in solution concentration of 0.7. Maximum cooling load that can be achieved is 54.5 watt in solution concentration of 0.6. From this research, it can be recommended that optimum solution concentration entering the system is 0.65-0.7.

Key word: Diffusion absorption refrigeration cycle, R22-DMF and COP.



## DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Judul	
Lembar Pengesahan	i
Kata Pengantar	iii
Abstrak	v
Abstract	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
Daftar Simbul	xv
<b>BAB.1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan Laporan .....	4
<b>BAB.2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi .....	7
2.1.1 Komponen dan Cara Kerja Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi .....	8
2.1.2 Kekekalan Massa pada Volume Atur .....	11
2.1.3 Kekekalan Energi pada Suatu Volume Atur .....	12
2.1.4 Analisa Termodinamika pada Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi .....	16
2.2 Penelitian Terdahulu	
2.2.1 Penelitian Tentang <i>Diffusion Absorption Refrigeration</i> <i>Cycle (DAR)</i> .....	22
2.2.2 Beberapa Penelitian Penggunaan R22- <i>Organic solvent</i> pada <i>Refrigeration Absorption (AR) Cycle</i> .....	25

2.3	Propertis R22, DMF dan Campuran R22-DMF .....	29
<b>BAB.3 METODE PENELITIAN</b>		
3.1	Sistematika Penelitian .....	31
3.2	Peralatan Eksperimen .....	32
3.2.1	Komponen Peralatan .....	32
3.2.2	Spesifikasi Komponen Peralatan .....	33
3.2.3	Lokasi Penempatan Alat Ukur .....	35
3.3	Rencana Penelitian .....	36
3.4	Prosedur Pengujian .....	37
3.4.1	Pemvakuman Sistem .....	37
3.4.2	Pengisian Sistem .....	38
3.4.3	Prosedur Pengujian .....	39
3.5	Tempat dan Waktu Pengambilan Data .....	41
<b>BAB.4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Data Hasil Eksperimen .....	43
4.2	Perhitungan dengan Data Eksperimen .....	43
4.3	Analisis dan Diskusi .....	46
4.3.1	Analisis Pengaruh Masukan $\dot{Q}_{gen}$ Terhadap <i>Cooling load</i> .....	46
4.3.2	Analisis Pengaruh Masukan Energi Panas pada Generator Terhadap COP .....	49
4.3.3	Analisis Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap COP .	51
4.3.4	Analisis Pengaruh $\dot{Q}_{gen}$ Terhadap <i>Mass Flow Rate</i> Larutan ( $\dot{m}_s$ ) dan Refrigeran ( $\dot{m}_{ref}$ ) .....	53
4.3.5	Analisis Pengaruh <i>Circulation Ratio</i> Terhadap COP .....	54
<b>BAB.5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	57
5.2	Saran .....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		59
<b>LAMPIRAN</b>		61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skematik Diagram Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi .....	9
Gambar 2.2	Kontrol Volume Untuk Kekekalan Massa dengan Satu Masukan dan Satu Keluaran .....	12
Gambar 2.3	Kontrol Volume Untuk Kekekalan Energi dengan Satu Masukan dan Satu Keluaran .....	13
Gambar 2.4	Sketsa Balans Massa dan Energi pada Sistem .....	17
Gambar 2.4a	Diagram Proses Termodinamik Sistem .....	18
Gambar 2.5	Generator Sistem Awal .....	23
Gambar 2.6	Generator dengan HX .....	23
Gambar 2.7	Perbandingan COP Sistem untuk Kedua Jenis Generator ....	23
Gambar 2.8	Perbandingan Kapasitas Pendinginan dengan Kedua Jenis Generator .....	23
Gambar 2.9	Konstruksi Evaporator .....	24
Gambar 2.10	Grafik COP vs <i>Strong Solution</i> .....	25
Gambar 2.11	Grafik Pengaruh Temperatur Generator terhadap COP dan <i>Mass Flow Rate Ratio</i> (f) .....	26
Gambar 2.12	Pengaruh Temperatur Generator vs COP Sistem .....	27
Gambar 2.13	Grafik COP vs Temperatur Generator .....	28
Gambar 2.14	Grafik COP Sistem vs Temperatur Kondensor .....	29
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Penelitian .....	31
Gambar 3.2	Instalasi Peralatan Eksperimen .....	33
Gambar 3.3	Lokasi Penempatan Alat Ukur pada Sistem .....	36
Gambar 4.1	Grafik $\dot{Q}_{evap}, \dot{m}_{ref}, T_{evap}$ vs $\dot{Q}_{gen}$ pada Konsentrasi 0,7 .....	46
Gambar 4.2	Grafik $T_{out\ cond}, T_{evap}, \dot{Q}_{evap}$ vs $\dot{Q}_{gen}$ pada Konsentrasi 0,7 . 48	
Gambar 4.3	Grafik $\dot{Q}_{evap}$ vs $\dot{Q}_{gen}$ pada Berbagai Konsentrasi Larutan	48
Gambar 4.4	Grafik COP vs $\dot{Q}_{gen}$ pada Berbagai Konsentrasi Larutan	49

Gambar 4.5	Grafik COP, $\dot{Q}_{evap}$ vs $\dot{Q}_{gen}$ pada Konsentrasi Larutan 0,6.	50
Gambar 4.6	Grafik COP vs Konsentrasi Larutan pada Beberapa $\dot{Q}_{gen}$ .	51
Gambar 4.7	Grafik COP <sub>max</sub> , $\dot{Q}_{evap,max}$ vs Konsentrasi Larutan .....	52
Gambar 4.8	Grafik <i>Mass flow rate</i> vs $\dot{Q}_{gen}$ .....	53
Gambar 4.9	Grafik COP, <i>Circulation Ratio</i> vs $\dot{Q}_{gen}$ .....	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Performansi Teoritis Beberapa Pasang	
	Refrigeran-Absorben .....	26
Tabel 3.1	Rencana Penelitian .....	37





## DAFTAR SIMBOL

### Simbol-simbol:

A	Luasan
AR	<i>Absorption Refrigeration</i>
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
CR	<i>Circulation Ratio</i>
DAR	<i>Diffusion Absorption Refrigeration</i>
DMF	Dimethyl Formamide
E	Energi
f	<i>Mass flow rate ratio</i>
g	Percepatan gravitasi
h	Entalpi spesifik
I	Arus listrik
$\dot{m}$	Laju aliran massa
P	Tekanan
$\dot{Q}$	Laju energi panas
T	Temperatur
u	Energi dalam
V	Voltage listrik
v	Volume spesifik
$\dot{W}$	Laju energi kerja
X	Kwalitas uap refrigeran
z	Ketinggian/ elevasi
$\xi$	Konsentrasi

### Subskrip:

i	<i>In</i> (masuk)
e	<i>Exit</i> (keluar)
c	Kondensor
cv	Kontrol volume
abs	Absorber
rectf	<i>Rectifier</i>
gen	Generator
evap	Evaporator
g	Gas
l	Liquid
rv	<i>Refrigerant riverse</i>
r	Refrigeran

s	<i>Solution</i>
mix	Campuran
a	Absorben

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Siklus refrigerasi absorpsi merupakan siklus lama yang masih digunakan sampai sekarang terutama yang menggunakan pasangan refrigeran amoniak-air ( $\text{NH}_3$ -air) dan pasangan refrigeran air-LiBr. Pasangan refrigeran amoniak-air biasanya digunakan untuk pemakaian suhu rendah sedang pasangan refrigerant air-LiBr hanya digunakan untuk suhu tinggi (pada pengkondisian udara).

Sebagaimana diketahui bahwa pasangan refrigeran amoniak-air tidak membentuk larutan yang ideal, meskipun daya larutnya sangat tinggi, akan tetapi titik didihnya atau *normal boiling point* (NBP) cukup rendah ( $138^\circ\text{C}$ ) sehingga uap refrigeran yang meninggalkan generator masih mengandung uap air. Dengan demikian di dalam sistem diperlukan peralatan *rectifier* untuk memurnikan uap refrigeran. Disamping itu larutan amoniak sangat korosif terhadap bahan terutama terhadap tembaga dan paduannya. Amoniak juga mempunyai sifat sangat beracun, dapat menyebabkan iritasi dan mempunyai sifat mudah terbakar. Sedang untuk pasangan refrigeran air- LiBr, mempunyai sifat diantaranya; daya larut dan titik didih (NBP) yang bagus, akan tetapi dalam penggunaannya sering bermasalah dalam hal korosi terhadap bahan, memerlukan tingkat kevakuman yang tinggi di evaporator agar mendapatkan suhu yang rendah dan juga sering terjadi masalah kristalisasi pada sistem. Sistem ini juga hanya digunakan untuk kapasitas pendinginan yang besar. Disamping itu bahwa sistem refrigerasi absorpsi yang menggunakan pasangan refrigeran-absorben ( $\text{NH}_3$ -air dan Air-LiBr) juga membutuhkan temperatur yang tinggi pada generatornya (diatas  $100^\circ\text{C}$ ) untuk dapat menggerakkan sistem (Koyfman, 2003). Bila sumber energi yang digunakan untuk menggerakkan sistem adalah energi surya, maka pasangan refrigeran ini tidak memungkinkan untuk digunakan.

Adanya kendala-kendala penggunaan kedua pasangan refrigeran-absorben tersebut, maka sangat perlu dicarikan alternatif pasangan refrigeran-absorben yang lebih cocok digunakan dengan temperatur operasi generator yang rendah.

Zellhoeffer et al (1937) telah melakukan penelitian mengenai daya larut (*solubility*) dari R-21 dan R-22 dalam beberapa penyerap (*solvent*) diantaranya dari kelompok; ethers, esters, amides dan amines. Hasil yang didapatkan bahwa Dimethyl Formamide (DMF) merupakan solvent yang sangat baik. Beberapa pasangan refrigeran-absorben yang memungkinkan digunakan pada sistem refrigerasi absorpsi diantaranya adalah; refrigerant (R-22) dipasangkan dengan organic solvent seperti; diethylene glycol dimethyl ether (DEGDME), triethylene glycol dimethyl ether (TrEGDME), tetraethylene glycol dimethyl ether (TEGDME), N-methyl-2 pyrrolidone (NMP), N-N dimethyl acetamide (DMA), N-N dimethyl formamide (DMF). Untuk refrigeran (R134a) dipasangkan dengan diethylene glycol dimethyl ether (DEGDME), triethylene glycol dimethyl ether (TrEGDME), tetraethylene glycol dimethyl ether (TEGDME, N-N dimethyl acetamide (DMA), N-N dimethyl formamide (DMF), pentaerythritol tetrapentanoate (PEC-5), dan pentaerythritol-2-ethyl butanoate (PEB-6).

Pada beberapa penelitian (Krishnendu, 1996 dan Yokozeki, 2005) telah didapatkan bahwa pasangan refrigeran R22-*Organic solvent* (misalnya; TEGDME, DMF) dikatakan merupakan pasangan refrigeran masa depan yang dapat dioperasikan dibawah temperatur 100°C. Pada penelitian-penelitian tersebut telah dilakukan beberapa pengkajian secara teoritik untuk berbagai pasangan refrigeran-absorben pada *absorption refrigeration cycle* (AR). Dari hasil pengkajian yang dilakukan, menunjukkan performansi yang sangat bagus. Untuk itu penelitian secara teoritik ini perlu dilakukan bersamaan dengan penelitian secara eksperimental baik pada siklus refrigerasi absorpsi (AR) maupun pada *diffusion absorption refrigeration cycle* (DAR).

Dari sejumlah penelitian, penelitian secara eksperimental terutama pada siklus refrigerasi absorpsi difusi dengan menggunakan pasangan refrigeran R22-DMF belum dilakukan. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan pengkajian secara eksperimental penggunaan R22-DMF pada siklus refrigerasi absorpsi difusi. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati dan mengetahui pengaruh beberapa parameter yang mempunyai pengaruh langsung terhadap coefficient of performance (COP) sistem. Parameter-parameter tersebut diantaranya adalah;

konsentrasi larutan yang masuk ke sistem, variasi inputan panas generator, efek refrigerasi pada evaporator dan besarnya *circulation ratio*.

## 1.2 Perumusan Masalah

*Coefficient of performance* (COP) adalah merupakan suatu ukuran yang digunakan untuk menyatakan daya guna dari suatu sistem refrigerasi. Pada sistem refrigerasi absorpsi diffuse, COP adalah merupakan perbandingan antara efek refrigerasi terhadap besarnya energi panas yang masuk generator. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi besaran COP diantaranya; besarnya efek refrigerasi pada evaporator, energi panas yang masuk ke generator dan juga konsentrasi larutan yang masuk ke sistem.

Pada penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana pengaruh perubahan parameter-parameter tersebut terhadap COP sistem. Adapun parameter-parameter yang dikaji adalah sebagai berikut;

- a) Besarnya konsentrasi larutan yang masuk ke dalam sistem
- b) Besarnya input tenaga panas pada generator
- c) Perubahan efek pendinginan (*cooling load*) pada evaporator.
- d) *Circulation ratio* (f) yaitu perbandingan antara laju aliran massa *strong solution* terhadap laju aliran massa refrigeran murni yang masuk kondensor.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat dilaksanakan dengan lebih terarah, maka dilakukan beberapa batasan masalah antara lain:

- Siklus yang digunakan adalah siklus refrigerasi absorpsi diffusi.
- Pasangan refrigeran yang digunakan adalah R22-DMF-Hidrogen.
- Eksperimen dilakukan dalam keadaan *steady state* dimana kondisi lingkungan relatif konstan
- Pengkajian difokuskan pada *coefficient of performance* (COP) sistem dengan memvariasikan konsentrasi larutan: 0,5; 0,6; 0,7; dan 0,8 serta dengan memvariasikan panas yang masuk generator.

## **1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

### **1.4.1 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mengevaluasi besarnya COP dari siklus refrigerasi absorpsi difusi yang menggunakan pasangan refrigeran-absorben R22-DMF-hidrogen. Disamping itu juga untuk mengetahui hubungan beberapa parameter yang dikaji terhadap COP sistem, sehingga diharapkan nantinya didapatkan kondisi kerja yang terbaik dari sistem ini.

### **1.4.2 Manfaat Penelitian**

Dengan penelitian ini diharapkan nantinya dapat menjadi acuan dalam mencari pasangan refrigeran-absorben alternatif yang dapat diterapkan untuk menggantikan pasangan refrigeran-absorben yang digunakan selama ini. Disamping itu penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan sistem refrigerasi absorpsi difusi lebih lanjut, misalnya dengan memanfaatkan sumber-sumber energi *renewable* seperti energi panas matahari, bio-gas atau sumber energi panas yang lainnya sebagai energi penggerak sistem.

## **1.5 Sistematika Penulisan Laporan**

Dalam penulisan Tesis ini menggunakan sistematika penulisan yang terdiri dari beberapa bab pokok bahasan sebagai berikut:

### **1. BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan laporan.

### **2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan tentang penelitian-penelitian terdahulu dan beberapa tinjauan pustaka yang diambil dari beberapa literatur yang nantinya digunakan dalam proses penyelesaian permasalahan yang akan dibahas dalam tesis ini.

### **3. BAB 3 METODE PENELITIAN**

Bab ini berisikan tentang desain peralatan eksperimen dan alat-alat ukur yang digunakan, serta prosedur pelaksanaan pengujian dan pengambilan data eksperimen.

#### **4. BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan tentang hasil-hasil eksperimen dan pengolahan dari data-data yang didapat, dan analisis- analisis serta diskusi dari eksperimen yang telah dilakukan.

#### **5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dari eksperimen yang telah dilakukan serta saran yang diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut.





## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas beberapa penelitian terdahulu yang berkenaan dengan siklus refrigerasi absorpsi difusi dan penggunaan pasangan refrigeran-absorben (R22-DMF), teori dasar termodinamika, siklus refrigerasi absorpsi difusi dengan komponen-komponennya beserta analisis termodinamikanya dan *property* termodinamika dari fluida kerjanya. Bab ini digunakan sebagai landasan berfikir serta acuan dari mulai proses penelitian sampai analisa hasil eksperimen.

#### 2.1 Siklus Refrigerasi Absorpsi Difusi (*diffusion absorption refrigeration (DAR) cycle*)

Siklus refrigerasi absorpsi difusi (*diffusion absorption refrigeration cycle*) pertama kali dibuat oleh Von Platen dan Munters tahun 1928 dengan menggunakan amoniak sebagai refrigeran dan air sebagai absorben serta hydrogen sebagai *auxiliary inert gas*. Pada siklus refrigerasi absorpsi difusi (DAR) tidak ada komponen mekanik yang bergerak (*moving part*). Hal ini berbeda dengan siklus refrigerasi absorpsi (AR) yang menggunakan pompa untuk mensirkulasikan fluida kerja. Pada *diffusion absorption refrigeration cycle* (DAR) menggunakan "*bubble pump*" untuk mensirkulasikan refrigeran dan larutan yang digunakan dalam sistem. Dengan demikian sistem pemeliharaan, kebisingan dan getaran dapat diminimalkan pada DAR, sedang pada siklus refrigerasi absorpsi (AR) masih menimbulkan kebisingan dan getaran cukup besar yang ditimbulkan oleh pompa.

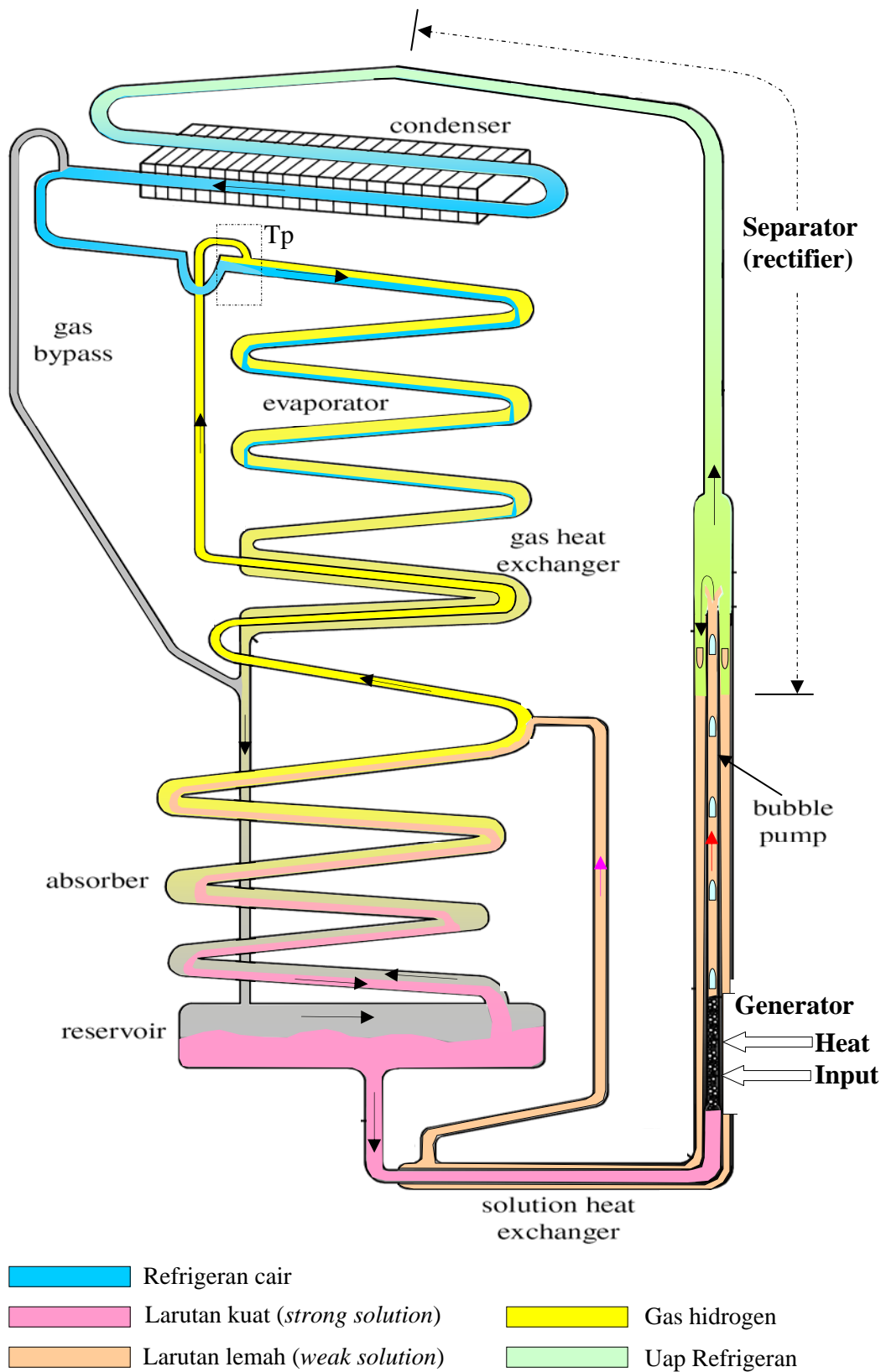
*Diffusion absorption refrigeration cycle* biasanya digunakan pada refrigerator rumah tangga, perkantoran, rumah sakit dan hotel-hotel yang membutuhkan tingkat kenyamanan yang tinggi. Sumber energi penggerak di generator pada siklus DAR maupun AR adalah energi panas, yang bisa didapatkan dari bahan bakar misalnya kerosin, gas alam, dan bisa juga dari sumber energi lain misalnya uap panas (*steam*) sisa, panas dari listrik, dan energi panas matahari (*solar energy*).

### 2.1.1 Komponen dan Cara Kerja Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi

Pada siklus refrigerasi absorpsi diffusi terdiri dari beberapa komponen utama yaitu; generator, kondensor, evaporator, absorber dan *bubble pump* dan beberapa komponen tambahan seperti *rectifier*, tangki pemapung (*reservoir*) dan *heat exchanger*. Secara skematik siklus refrigerasi absorpsi diffusi (*diffusion absorption refrigeration cycle*) dapat ditunjukkan seperti Gambar 2.1.

Fungsi dari masing-masing komponen sistem refrigerasi absorpsi diffusi :

- Generator; yang berfungsi untuk menguapkan refrigeran dari dalam larutan dengan jalan memberi panas pada generator.
- Kondensor; yang berfungsi untuk mengkondensasikan refrigeran dengan jalan membuang panasnya ke lingkungan (media pendingin)
- Evaporator; yang berfungsi untuk mengevaporasikan refrigeran dengan jalan menyerap panas yang ada di sekitar evaporator (ruang beban)
- Absorber; yang berfungsi sebagai tempat penyerapan uap refrigeran oleh absorben sehingga membentuk larutan kuat (*strong solution*).
- *Reservoir*; yang berfungsi untuk menyimpan dan menampung larutan refrigeran yang terbentuk di absorber
- *Heat exchanger*; adalah alat yang berfungsi untuk penukar kalor/ panas sehingga panas yang semestinya dibuang, sebagian dapat dimanfaatkan kembali



Gambar 2.1 Skematik Diagram Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi (DAR)

### Cara Kerja Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi;

Adapun cara kerjanya berdasarkan sketsa Gambar 2.1 adalah sebagai berikut; pertama larutan kuat (*strong solution*) yang ada di generator bila diberi panas maka refrigerannya akan menguap membentuk gelembung-gelembung uap refrigeran. Karena uap refrigeran massa jenisnya jauh lebih kecil dibanding larutannya, maka gelembung uap refrigeran akan bergerak ke atas menuju pipa "bubble pump". Pada pipa "bubble pump" gelembung-gelembung uap refrigeran terus naik ke atas dan membawa serta cairan/ larutan lemah (konsentrasi R22 dalam larutan DMF kecil) ke atas menuju separator. Dengan adanya aliran massa ini, mengakibatkan terjadinya kevakuman massa pada bagian bawah generator. Kevakuman pada bagian bawah generator, akan menarik larutan kuat (konsentrasi R22 dalam larutan besar) yang ada di reservoir menuju generator.

Pada separator akan terjadi pemisahan antara uap refrigeran dengan larutan lemah (*weak solution*) yang ikut terbawa ke atas bersama uap refrigeran, di mana uap refrigeran akan bergerak ke atas menuju kondensor, sedang larutan lemah bergerak ke bawah menuju absorber lewat pipa selubung yang ada di sekeliling pipa "Bubble pump". Uap refrigeran yang bergerak ke atas menuju kondensor akan membilas gas hidrogen yang ada di sepanjang pipa separator dan kondensor, dan mendesaknya menuju pipa saluran *bypass*.

Di kondensor uap refrigeran yang datang dari separator selanjutnya mengalami proses kondensasi. Proses kondensasi berlangsung dengan jalan membuang sebagian panas refrigeran ke lingkungan sehingga refrigeran berubah dari uap menjadi refrigeran cair. Selanjutnya refrigeran cair yang terbentuk di kondensor, karena mempunyai massa jenis yang lebih besar dibanding dalam bentuk uap, maka akan bergerak ke bawah menuju bagian bawah kondensor dan selanjutnya menuju tempat ekspansi (Tp).

Di tempat ekspansi, refrigeran cair bertemu dengan gas hydrogen yang mengandung sedikit uap refrigeran yang berasal dari absorber. Tekanan parsial uap refrigeran (*refrigerant vapour*) yang datang dari absorber jauh lebih kecil dibanding dengan tekanan *saturated liquid* refrigeran yang datang dari kondensor. Adanya perbedaan ini menyebabkan refrigeran cair akan menguap sampai tercapai kesetimbangan dimana  $P_{\text{vapour,ref}} \cong P_{\text{sat liquid,ref}}$ . Proses penguapan refrigeran cair

dapat berlangsung dengan mengambil sebagian energi panas yang dikandung oleh refrigeran cair yang datang dari kondensor dan energi panas yang dikandung oleh campuran gas yang datang dari absorber. Dengan adanya proses tersebut akan mengakibatkan temperatur refrigeran turun (rendah).

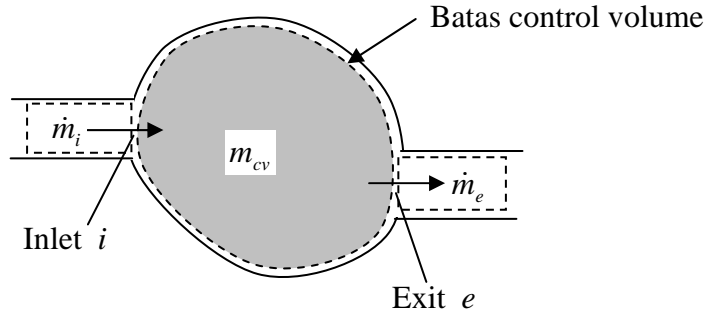
Cairan refrigeran dengan temperatur yang rendah selanjutnya bergerak menuju evaporator. Di evaporator refrigeran cair akan menguap dengan jalan menyerap panas/kalor dari sekeliling evaporator (diberikan panas lewat heater sebagai beban evaporator). Uap refrigeran yang terbentuk di evaporator akan bercampur dengan gas hydrogen. Berat jenis uap refrigeran lebih besar dibanding gas hydrogen sehingga uap refrigeran akan bergerak ke bawah sambil membawa gas hydrogen menuju absorber melewati tangki reservoir. Dengan pergerakan gas refrigeran menuju absorber, maka proses penguapan refrigeran cair di evaporator akan tetap terjaga.

Di absorber campuran uap refrigeran dan gas hydrogen yang datang dari evaporator dipisahkan, dimana uap refrigeran diserap (diabsorpsi) kembali oleh larutan lemah yang datang dari separator. Proses penyerapan uap refrigeran oleh larutan lemah (proses absorpsi) dapat berlangsung dengan membuang panas larutan lemah dan panas yang ditimbulkan saat proses absorpsi ke lingkungan. Proses absorpsi ini akan menghasilkan larutan kuat yang selanjutnya akan bergerak ke bawah dan ditampung dalam tangki reservoir. Sedang gas hydrogennya tidak ikut terabsorpsi oleh larutan lemah. Karena massa jenis gas hydrogen kecil, maka gas hidrogen akan bergerak ke atas kembali menuju evaporator sambil membawa sedikit uap refrigeran yang tidak terabsorpsi. Larutan kuat yang ada di tangki reservoir akan bergerak kembali menuju generator sebagai akibat adanya kevakuman massa yang terjadi pada bagian bawah generator.

Prosesnya kembali lagi ke awal, dan begitu seterusnya.

### **2.1.2 Kekekalan Massa pada Volume Atur**

Prinsip kekekalan massa untuk volume atur dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 2.2, dimana dapat dilihat ada aliran massa yang masuk menembus sebuah *control volume* dan ada aliran massa yang meninggalkan *control volume* tersebut.



Gambar 2.2 Kontrol Volume untuk Kekekalan Massa dengan Satu Masukan dan Satu Keluaran

Berdasarkan Gambar 2.2 di atas secara prinsip, kekekalan massa dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\left[ \begin{array}{l} \text{time rate of change of} \\ \text{mass contained within the} \\ \text{control volume at time } t \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{time rate of flow} \\ \text{of mass in across} \\ \text{inlet } i \text{ at time } t \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{time rate of flow} \\ \text{of mass out across} \\ \text{exit } e \text{ at time } t \end{array} \right]$$

Dari definisi di atas dapat dituliskan dalam bentuk simbol sebagai berikut;

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_e \quad (2.1)$$

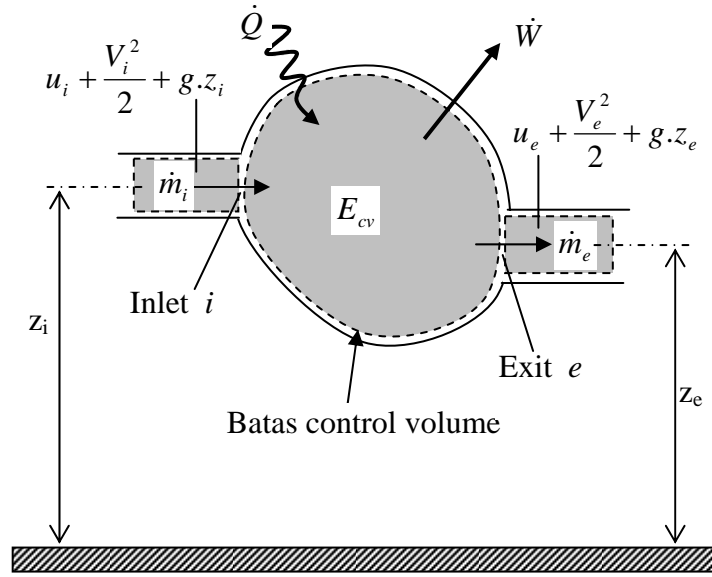
Secara umum, tempat untuk aliran masuk ataupun aliran ke luar pada batas volume atur dapat berada di beberapa lokasi. Hal ini dapat dihitung sebagai penjumlahan sehingga persamaan 2.1 dapat dinyatakan sebagai berikut;

$$\frac{dm_{cv}}{dt} = \sum_i \dot{m}_i - \sum_e \dot{m}_e \quad (2.2)$$

### 2.1.3 Kekekalan Energi pada Suatu Volume Atur

Prinsip kekekalan energi untuk suatu volume atur, dapat dijelaskan dengan pendekatan yang baik seperti pada Gambar 2.3.

Berdasarkan gambar 2.3 di bawah, prinsip kekekalan energi untuk suatu kontrol volume dapat didefinisikan atau dirumuskan sebagai berikut;



Gambar 2.3 Kontrol Volume untuk Kekekalan Energi dengan Satu Masukan dan Satu Keluaran

$$\left[ \begin{array}{l} \text{time rate of change} \\ \text{of the energy} \\ \text{containing within} \\ \text{the control} \\ \text{volume at time } t \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{net rate of which} \\ \text{energy is being} \\ \text{transferred in by} \\ \text{heat transfer at} \\ \text{time } t \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{net rate of which} \\ \text{energy is being} \\ \text{transferred out} \\ \text{by work at} \\ \text{time } t \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{l} \text{net rate of energy} \\ \text{transfer into the} \\ \text{control volume} \\ \text{accompanying} \\ \text{mass flow} \end{array} \right]$$

Berdasarkan pernyataan di atas, untuk control volume satu saluran masuk dan satu saluran ke luar dengan aliran satu dimensi, maka balans laju energi (*energy rate balance*) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \dot{m}_i \left( u_i + \frac{V_i^2}{2} + g.z_i \right) - \dot{m}_e \left( u_e + \frac{V_e^2}{2} + g.z_e \right) \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 bisa ditulis dalam bentuk lain yang lebih mudah untuk diaplikasikan. Hal ini dapat diperoleh dengan menyusun ulang bentuk kerja  $\dot{W}$ , yang mencerminkan laju neto dari transfer energi dalam bentuk kerja melintasi semua bagian batas dari kontrol volume. Karena kerja selalu dilakukan pada atau oleh volume atur, dimana zat mengalir melintasi batas sistem, maka untuk memudahkan bentuk kerja dapat dipisahkan menjadi dua bentuk kontribusi. Kontribusi pertama adalah kerja yang berhubungan dengan tekanan fluida, dimana zat dimasukkan pada sisi masuk atau dikeluarkan pada sisi keluaran. Bentuk



kontribusi lainnya, dinyatakan dengan  $\dot{W}_{cv}$ , dimana termasuk semua pengaruh kerja lainnya, seperti pengaruh putaran poros, pergeseran batas dan akibat pengaruh yang berhubungan dengan listrik.

Kerja pada sisi keluaran  $e$  berhubungan dengan tekanan dari zat yang mengalir. Laju perpindahan energi dalam bentuk kerja dapat dinyatakan sebagai perkalian dari gaya normal yang dihasilkan dari tekanan ( $p_e$ ) dan luasan normal arah aliran ( $A_e$ ), dengan kecepatan fluida ( $V_e$ ), yang dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$\left[ \begin{array}{l} \text{time rate of energy transfer} \\ \text{by work from the control} \\ \text{volume at exit } e \end{array} \right] = (p_e \cdot A_e) \cdot V_e$$

Suatu pernyataan serupa dapat dituliskan untuk laju perpindahan energi melalui kerja ke dalam volume atur pada sisi masuk ( $i$ ).

Dengan pertimbangan diatas, maka bentuk kerja  $W$  dari persamaan laju energi pada persamaan 2.3, dapat ditulis sebagai;

$$\dot{W} = \dot{W}_{cv} + (p_e \cdot A_e) \cdot V_e - (p_i \cdot A_i) \cdot V_i \quad (2.4)$$

$$\text{Dimana; } A \cdot V = \dot{m} \cdot v$$

$$\text{Maka; } \dot{W} = \dot{W}_{cv} + \dot{m}_e \cdot (p_e \cdot v_e) - \dot{m}_i \cdot (p_i \cdot v_i) \quad (2.5)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.5 ke dalam persamaan 2.3, maka akan menghasilkan bentuk neraca laju energi pada volume atur sebagai berikut;

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \cdot \left( u_i + p_i \cdot v_i + \frac{V_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \dot{m}_e \cdot \left( u_e + p_e \cdot v_e + \frac{V_e^2}{2} + g \cdot z_e \right) \quad 2.6$$

Subskrip "cv" ditambahkan pada  $\dot{Q}$  untuk menekankan bahwa bentuk ini merupakan laju perpindahan kalor melewati batas permukaan atur dari volume atur. Kedua suku terakhir dari persamaan 2.3 dapat ditulis kembali dengan menggunakan entalpi spesifik  $h$ , dimana  $h = u + pv$ , maka neraca laju energi menjadi;

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i \cdot \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \dot{m}_e \cdot \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + g \cdot z_e \right) \quad (2.7)$$

Dalam praktik terdapat beberapa kemungkinan tempat untuk masuk maupun keluarnya massa melintasi batas volume atur, sehingga hal ini dapat dianggap sebagai penjumlahan energi. Dengan demikian laju neraca energi menjadi;

$$\frac{dE_{cv}}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \sum_i \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + g \cdot z_e \right) \quad (2.8)$$

Persamaan 2.8 adalah neraca akunting kesetimbangan energi untuk volume atur. Persamaan ini menyatakan bahwa kenaikan atau penurunan laju energi di dalam volume atur akan sama dengan selisih antara laju perpindahan energi yang masuk dengan yang ke luar melewati batas volume atur. Mekanisme perpindahan energinya dapat berupa perpindahan kalor dan kerja, serta berupa energi yang dibawa ikut dengan massa yang masuk maupun yang ke luar.

Untuk suatu kontrol volume dalam keadaan tunak (*steady state*), kondisi massa yang berada dalam volume atur dan pada daerah batasnya tidak berubah menurut waktu. Laju perpindahan massa dan laju perpindahan energi dalam bentuk panas dan kerja juga konstan terhadap waktu. Disini tidak terjadi penumpukan massa dan energi, sehingga  $d\dot{m}_{cv} / dt = 0$ , maka persamaan 2.2 dapat dituliskan:

$$\sum_i \dot{m}_i = \sum_e \dot{m}_e \quad (2.9)$$

Lebih lanjut, dalam keadaan *steady state*  $dE_{cv} / dt = 0$ , maka persamaan 2.8 dapat dituliskan sebagai berikut;

$$0 = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \sum_i \dot{m}_i \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) - \sum_e \dot{m}_e \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + g \cdot z_e \right) \quad (2.10)$$

Persamaan 2.9 menyatakan bahwa pada keadaan *steady state*, laju massa total yang memasuki volume atur adalah sama dengan laju massa total yang keluar volume atur. Begitu juga dengan persamaan 2.10 menyatakan bahwa laju total energi yang dipindahkan ke dalam volume atur adalah sama dengan laju total energi yang dipindahkan ke luar volume atur.

Pada beberapa aplikasi dalam keadaan *steady state*, untuk satu sisi masukan (1) dan satu sisi keluaran (2), maka neraca laju massa dapat dituliskan;  $\dot{m}_i = \dot{m}_e$ , sehingga persamaan 2.10 dapat dituliskan sebagai berikut;

$$\dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m} \left[ (h_1 - h_2) + \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2} + g(z_1 - z_2) \right] = 0 \quad (2.11)$$

Pada kasus-kasus tertentu, bahwa pengaruh perubahan energi kinetik dan perubahan energi potensial sangat kecil, maka sering dapat diabaikan. Dengan demikian maka persamaan 2.11 dapat dituliskan;

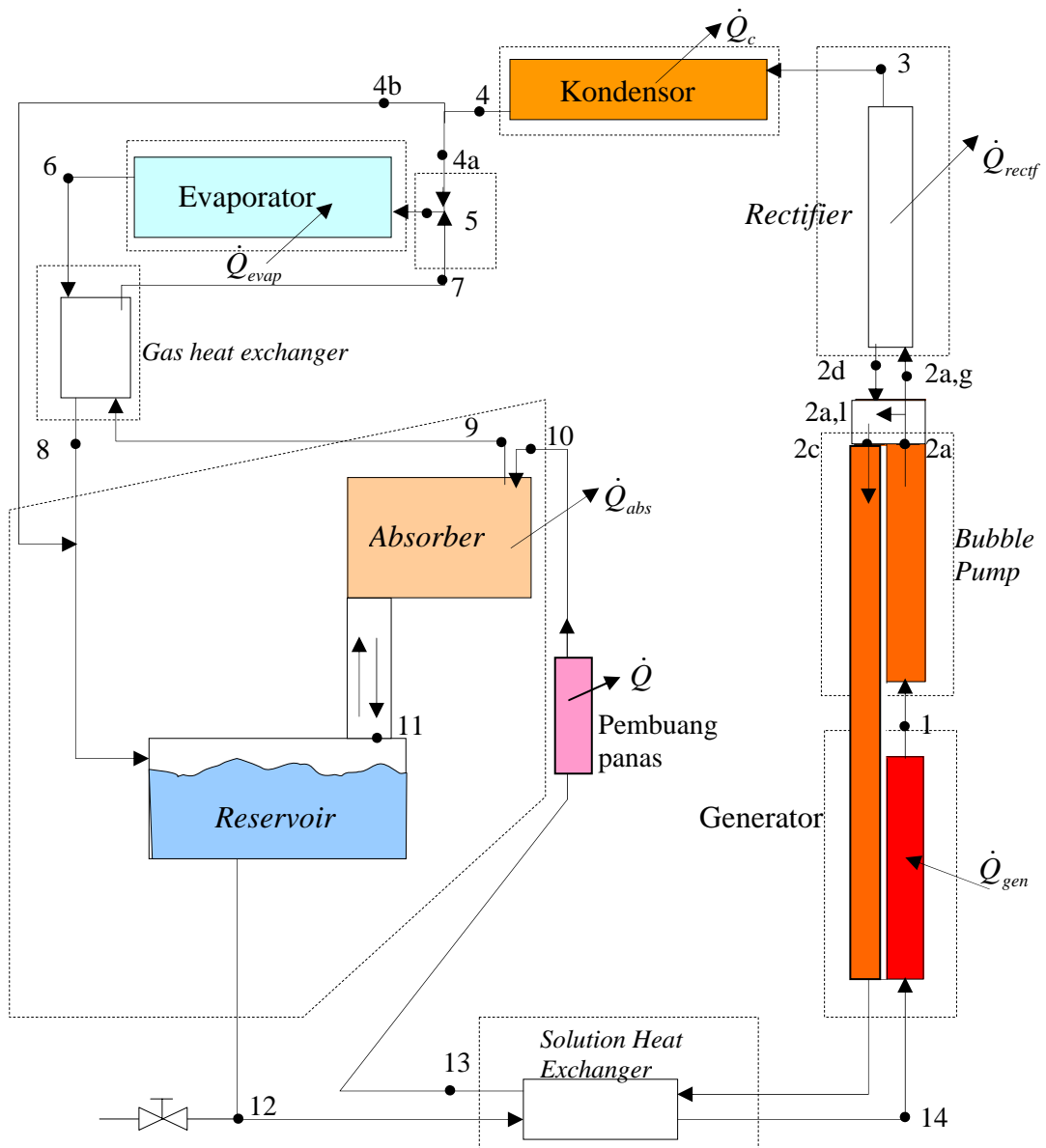
$$\dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}(h_1 - h_2) = 0 \quad (2.12)$$

#### 2.1.4 Analisis Termodinamika pada Siklus Refrigerasi Absorpsi Diffusi

Analisa secara termodinamik digunakan untuk menganalisa keseluruhan sistem refrigerasi absorpsi diffusi. Di dalam melakukan penganalisaan diperlukan beberapa diagram termodinamika untuk menggambarkan proses yang berlangsung dalam sistem. Diagram tersebut diantaranya diagram T-S dan p-h digunakan untuk menggambarkan dan menjelaskan proses refrigerannya di kondensor dan di evaporator. Sedang diagram h-ξ-T-p dan p-T-ξ digunakan untuk menjelaskan proses yang dialami oleh larutan dan uapnya di dalam sistem. Dalam melakukan analisa siklus refrigerasi absorpsi diffusi, digunakan beberapa asumsi diantaranya;

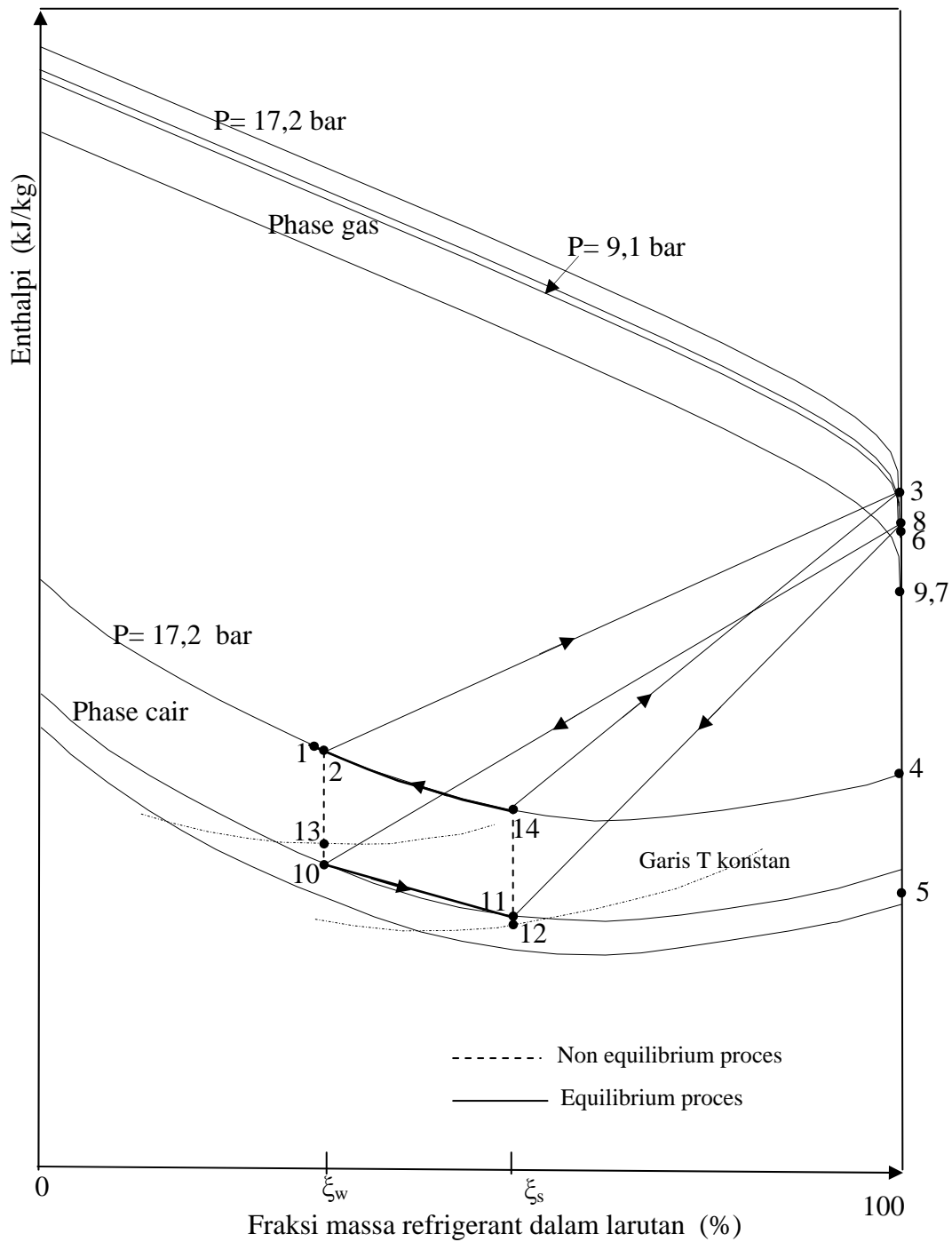
- Larutan dan gas (gelembung uap refrigeran) meninggalkan generator mempunyai temperatur yang sama
- Penurunan tekanan sepanjang pipa diabaikan dan pengaruh tekanan hidrostatik diabaikan
- Larutan kuat (*strong solution*) yang menuju generator dan larutan lemah (*weak solution*) yang menuju absorber dianggap berada dalam keadaan setimbang (*equilibrium*).
- Pencampuran gas dianggap sebagai campuran gas ideal.

Untuk keperluan analisa balans massa dan energi, sistem DAR yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dapat disederhanakan dalam bentuk diagram blok seperti pada Gambar 2.4. Selanjutnya berdasarkan Gambar 2.4 dibuat diagram proses Termodinamik seperti pada Gambar 2.4a.



Gambar 2.4 Sketsa Balans Massa dan Energi pada Sistem

Dengan menggunakan persamaan 2.2 dan persamaan 2.8, dan dengan mengasumsikan bahwa proses berlangsung dalam keadaan *steady*, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan balans energi pada masing-masing komponen sistem.



Gambar 2.4a Diagram Proses Termodinamik Sistem

#### a. Balans Massa dan Energi pada Generator

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan energi pada sistem generator sebagai berikut;

Balans massa;

$$\dot{m}_{14} - \dot{m}_{1a} = 0 \quad , \quad \dot{m}_{1b} - \dot{m}_{14a} = 0 \quad (2.13)$$

Balans energi;

$$(\dot{m}_{14} \cdot h_{14} + \dot{m}_{1b} \cdot h_{1b}) - (\dot{m}_{1a} \cdot h_{1a} + \dot{m}_{14a} \cdot h_{14a}) + \dot{Q}_{gen} = 0 \quad (2.14)$$

**b. Balans Massa dan Energi pada *Bubble Pump***

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan energi pada sistem "*bubble pump*" sebagai berikut;

Balans massa;

$$\dot{m}_{1a} - \dot{m}_{2a} = 0 \quad , \quad \dot{m}_{2c} - \dot{m}_{1b} = 0 \quad (2.15)$$

$$\text{dimana; } \dot{m}_{2c} = \dot{m}_{2a,l} + \dot{m}_{2d} ,$$

$$\dot{m}_{1a} - \dot{m}_{2a} = 0 \quad , \quad (\dot{m}_{2d} + \dot{m}_{2a,l}) - \dot{m}_{1b} = 0 \quad (2.16)$$

Persamaan balans energi;

$$\dot{m}_{1a} \cdot h_{1a} + (\dot{m}_{2d} + \dot{m}_{2a,l}) \cdot h_{2c} - \dot{m}_{1b} \cdot h_{1b} - \dot{m}_{2a} \cdot h_{2a} = 0 \quad (2.17)$$

**c. Balans Massa dan Energi pada *Rectifier***

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan energi pada sistem *rectifier* sebagai berikut;

Balans massa ;

$$\dot{m}_{2a,g} - \dot{m}_3 - \dot{m}_{2d} = 0 \quad (2.18)$$

Persamaan balans energi;

$$\dot{m}_{2a,g} \cdot h_{2a,g} - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_{2d} \cdot h_{2d} - \dot{Q}_{rec} = 0 \quad (2.19)$$

**d. Persamaan Balans Massa satu kesatuan Generator, *Bubble pump* dan *Rectifier***

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa pada sistem satu kesatuan Generator, *Bubble pump* dan *rectifier* sebagai berikut;

$$\dot{m}_{14} - \dot{m}_3 - \dot{m}_{14a} = 0 \quad (2.20)$$

$$\text{dimana; } \dot{m}_{14a} = \dot{m}_{1b} = \dot{m}_{2c} , \quad \text{dan} \quad \dot{m}_{14} = \dot{m}_{1a} = \dot{m}_{2a} \quad \text{maka;}$$

$$\dot{m}_{14} - \dot{m}_3 - \dot{m}_{2c} = 0 \quad (2.21)$$

**e. Persamaan Balans Massa dan Energi pada Kondensor**

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan energi pada sistem kondensor sebagai berikut;

Balans massa;

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = 0 \quad (2.22)$$

Balans energi

$$\begin{aligned} \dot{m}_3.h_3 - \dot{m}_4.h_4 - \dot{Q}_{cond} &= 0 \\ \dot{m}_3.h_3 - \dot{m}_4.[h_{r4,f} + X.h_{4,fg}] - \dot{Q}_{cond} &= 0 \end{aligned} \quad (2.23)$$

**f. Persamaan Balans Massa dan Energi pada Solution Heat Exchanger**

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan energi pada sistem *solution heat exchanger* sebagai berikut;

Balans massa;

$$\dot{m}_{12} - \dot{m}_{14} = 0 \quad , \quad \dot{m}_{14a} - \dot{m}_{13} = 0 \quad (2.24)$$

Balans energi;

$$(\dot{m}_{12}.h_{12} + \dot{m}_{14}.h_{14}) - (\dot{m}_{14a}.h_{14a} + \dot{m}_{13}.h_{13}) = 0 \quad (2.25)$$

**g. Persamaan balans Massa dan Energi pada daerah ekspansi**

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan energi pada sistem daerah ekspansi sebagai berikut;

Balans massa refrigeran;

$$\dot{m}_{7,rv} + \dot{m}_{4a} - \dot{m}_{5,r} = 0 \quad (2.26)$$

$$\begin{aligned} \text{dimana; } \dot{m}_{5,r} &= (\dot{m}_{7,rv})_g + (\dot{m}_5)_g + (\dot{m}_5)_l \\ &= (\dot{m}_{7,rv})_g + (\dot{m}_{4a} - \dot{m}_{5,l}) + (\dot{m}_5)_l \end{aligned}$$

Persamaan balans energi pada daerah masuk dan ke luar ekspansi

$$\begin{aligned} \dot{m}_{7,rv}.h_{7,rv} + \dot{m}_H.h_{H,7} + \dot{m}_{4a}.h_{4a} - \dot{m}_H.h_{H,5} \\ - (\dot{m}_{7,rv} + \dot{m}_{5,g}).h_{5,g} - \dot{m}_{5,l}.h_{5,f} &= 0 \end{aligned} \quad (2.27)$$

**h. Persamaan balans Massa dan Energi pada Evaporator dan Gas Heat Exchanger**

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan energi pada sistem evaporator dan *gas heat exchanger* sebagai berikut;

Persamaan balans massa refrigeran pada evaporator

$$\begin{aligned}\dot{m}_5 - \dot{m}_6 &= 0 \\ (\dot{m}_{5,g} + \dot{m}_{5,l}) - (\dot{m}_{6,g} + \dot{m}_{6,l}) &= 0 \\ \text{dimana; } \dot{m}_{5,g} &= \dot{m}_{7,rv} + (\dot{m}_{4a,l} - \dot{m}_{5,l})\end{aligned}\quad (2.28)$$

Balans massa pada *gas heat exchanger*;

$$\dot{m}_9 - \dot{m}_7 = 0 \quad , \quad \dot{m}_6 - \dot{m}_8 = 0 \quad (2.29)$$

Persamaan balans energi pada evaporator

$$\begin{aligned}(\dot{m}_{5,r,g} \cdot h_{5,r,g} + \dot{m}_{5,r,l} \cdot h_{5,r,f}) + \dot{m}_H \cdot C_{p_H} \cdot (T_5 - T_6) \\ - (\dot{m}_{r,6,l} \cdot h_{r,6,f} + \dot{m}_{r,6,g} \cdot h_{r,6,g}) + \dot{Q}_{evap} = 0\end{aligned}\quad (2.30)$$

Persamaan balans energi pada *gas heat exchanger*

$$\begin{aligned}\dot{m}_{9,r} \cdot (h_{9,r} - h_{7,r}) + \dot{m}_{6,r} \cdot (h_{6,r} - h_{8,r}) \\ + \dot{m}_{H,9} \cdot (h_{H,9} - h_{H,7}) + \dot{m}_{H,6} \cdot (h_{H,6} - h_{H,8}) = 0\end{aligned}\quad (2.31)$$

**i. Persamaan balans Massa dan Energi pada Absorber dan Reservoir**

Berdasarkan Gambar 2.4, maka dapat dibangun persamaan-persamaan balans massa dan energi pada sistem absorber dan *reservoir* sbb;

Persamaan balans massa;

$$\dot{m}_8 + \dot{m}_{4b} + \dot{m}_{10} - \dot{m}_9 - \dot{m}_{12} = 0 \quad (2.32)$$

Balans massa refrigeran;

$$\dot{m}_8 + \dot{m}_4 \cdot X_4 + \dot{m}_{10} \cdot \xi_{10} - \dot{m}_{9,rv} - \dot{m}_{12} \cdot \xi_{12} = 0 \quad (2.33)$$

Persamaan balans energi

$$\begin{aligned}\dot{m}_{8,r} \cdot h_{8,r} + \dot{m}_4 \cdot X_4 \cdot h_{4,g} + \dot{m}_{10} \cdot h_{10} - \dot{m}_{9,r} \cdot h_{9,r} \\ - \dot{m}_{12} \cdot h_{12} + \dot{m}_H \cdot (h_{8,H} - h_{9,H}) - \dot{Q}_{abs} = 0\end{aligned}\quad (2.34)$$



**j. Coefficient of Performance (COP)**

*Coefficient of performance* (COP) didefinisikan sebagai perbandingan/ rasio antara besarnya panas yang diserap oleh evaporator yang dikenal dengan *refrigeration effect* terhadap besarnya panas yang disuplai pada generator.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{gen}} \quad (2.35)$$

**k. Circulation Ratio (CR) atau Mass flow rate ratio (f)**

*Circulation Ratio* (CR) atau *mass flow rate ratio* (f) didefinisikan sebagai perbandingan/ rasio antara besarnya laju aliran massa larutan kuat (*strong solution*) terhadap besarnya laju aliran massa refrigeran. (*pure refrigerant*).

$$CR (f) = \frac{\dot{m}_{12}}{\dot{m}_3} = \frac{1 - \xi_{12}}{\xi_{612} - \xi_{13}} \quad (2.36)$$

## **2.2 Penelitian Terdahulu**

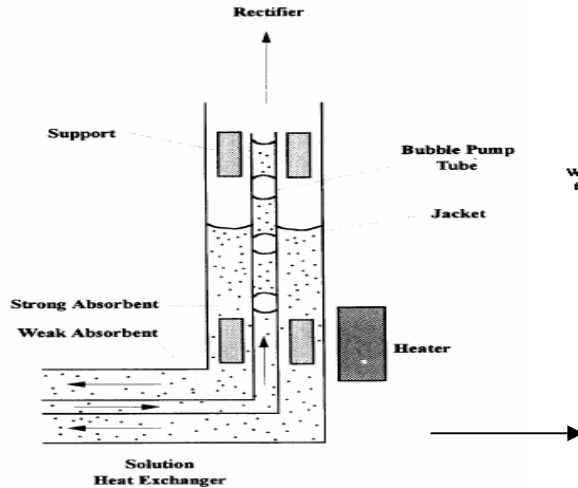
### **2.2.1 Penelitian Tentang Diffusion Absorption Refrigeration cycle**

J.Chen, K.J.Kim dan K.E.Herold; 1996 , melakukan penelitian tentang upaya peningkatan COP pada sebuah refrigerator absorpsi difusi (*a diffusion absorption refrigerator*). Pada penelitian ini dilakukan perubahan konstruksi pada generatornya yaitu dibuat generator baru dengan *heat exchanger* (GWHX) seperti pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6..

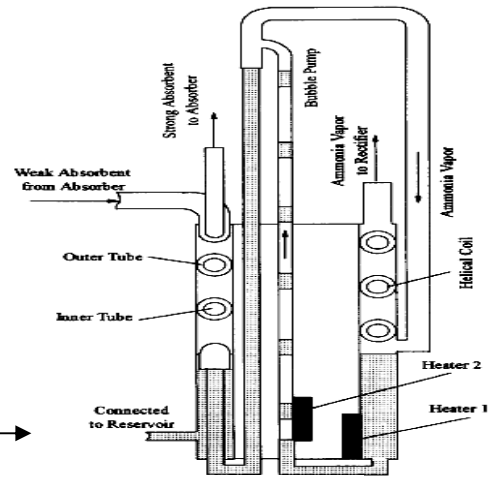
Pengujian secara eksperimen dilakukan pada refrigerator absorpsi difusi dengan kedua jenis generator baik yang standar maupun yang telah dimodifikasi, kemudian hasilnya dianalisa seberapa jauh peningkatan yang didapat. Adapun pasangan refrigerant-absorbent yang digunakan adalah amoniak-air dengan hydrogen sebagai *auxiliary gas*. Konsentrasi ammonia pada *strong solution* sebesar 30% NH<sub>3</sub> per satuan massa larutan.

Dari hasil analisa (Gambar 2.7) didapatkan bahwa dengan menggunakan generator rancangan baru (GWHX) (Gambar 2.5) didapatkan peningkatan performansi sampai 50% dengan kapasitas pendinginan yang sama. Dan pada

gambar tersebut juga terlihat bahwa semakin besar input power maka semakin kecil COP-nya.

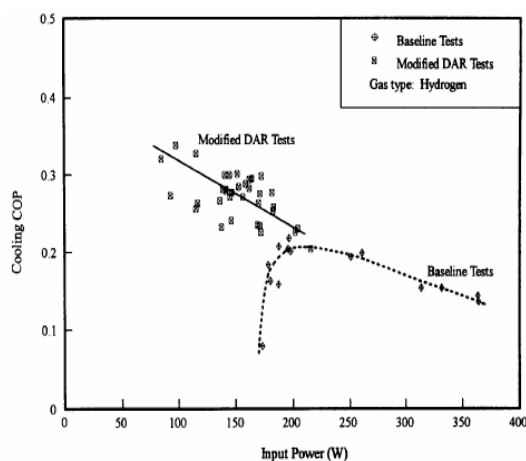


Gambar 2.5 Generator sistem awal

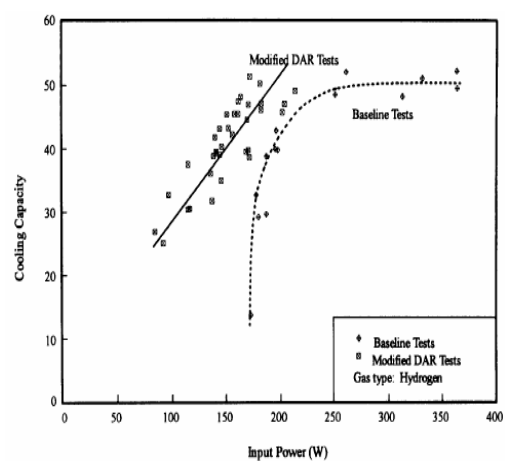


Gambar 2.6 Generator dengan HX

Dari hasil analisa (Gambar 2.8) juga menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan meningkat dengan naiknya input power. Dengan modifikasi generator, perubahan kapasitas pendinginan meningkat secara linier seiring dengan meningkatnya input power. Disamping itu Gambar 2.8 juga menunjukkan bahwa dengan modifikasi generator, input power minimal bisa jauh lebih rendah dibanding sebelum dilakukan modifikasi.

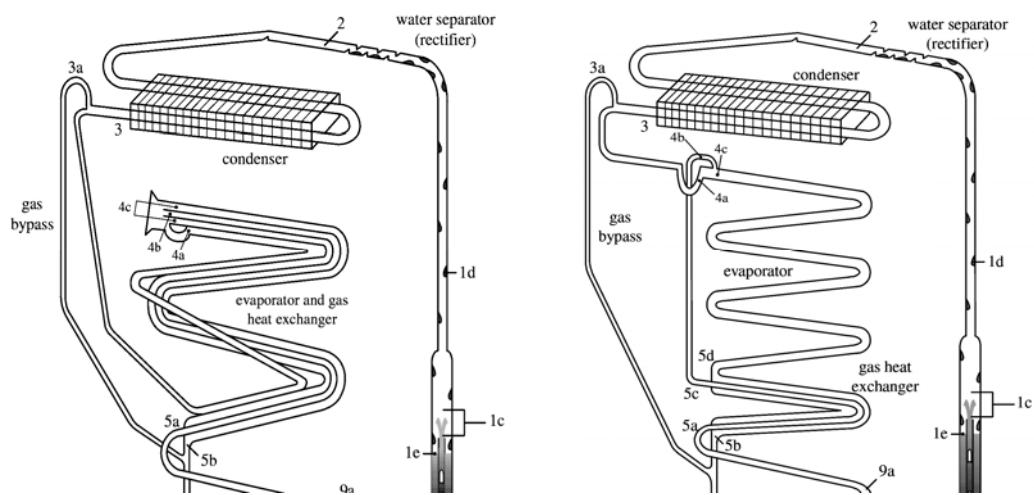


Gambar 2.7 Perbandingan COP sistem untuk kedua jenis generator



Gambar 2.8 Perbandingan kapasitas pendinginan dengan kedua jenis generator

A.Zohar, M.Jelinek, A.Levy, I.Borde; 2005 , telah melakukan penelitian pada sebuah *diffusion absorption refrigeration cycle* dengan melakukan perubahan konstruksi pada evaporatornya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan performansi dari kedua sistem tersebut. Pada konstruksi sebelumnya, refrigeran yang masuk ke evaporator ditetapkan pada kondisi sub-cool, sedang pada konstruksi evaporator yang baru, refrigeran yang masuk evaporator ditetapkan pada keadaan cair jenuh. Hal ini didapat dengan melakukan perubahan konstruksi pada evaporatornya (Gambar 2.9a ) ke bentuk yang tidak ada *heat exchanger*-nya pada evaporator (Gambar 2.9b)

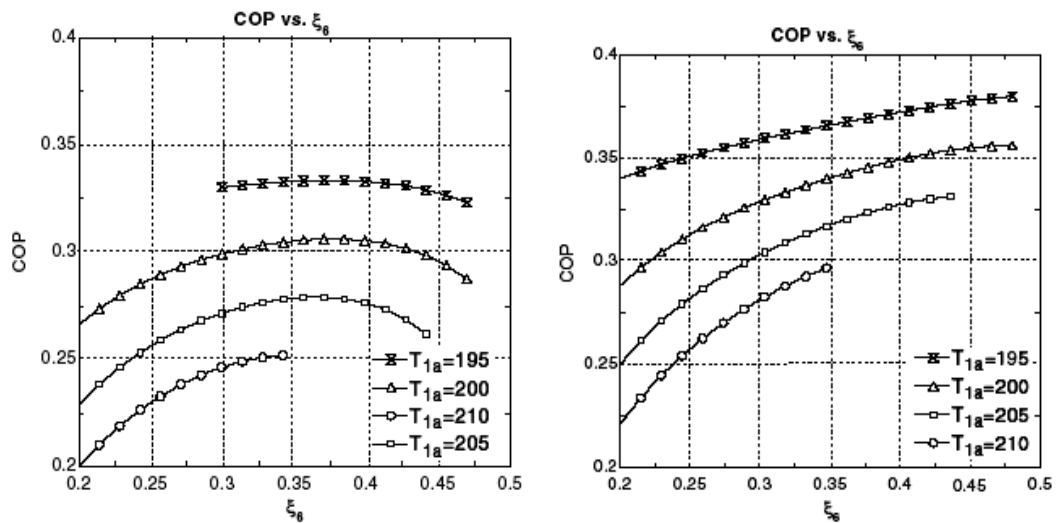


a. Konstruksi Evaporator DAR-1

b. Konstruksi Evaporator DAR-2

Gambar 2.9 Konstruksi Evaporator

Pasangan refrigeran-absorben yang digunakan pada penelitian ini adalah ammonia ( $\text{NH}_3$ ) – air – hydrogen. Model analisa termodinamik digunakan sebagai dasar di dalam menganalisa siklus DAR dengan menggunakan bantuan EES (*Engineering Equation Solver*) software. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan (Gambar 2.10), didapatkan bahwa siklus DAR-2 mempunyai COP yang lebih baik sebesar (20%) dibandingkan dengan siklus DAR-1. Dari grafik juga terlihat bahwa COP bertambah besar dengan mengecilnya temperatur generator serta membesarnya konsentrasi *strong solution* ( $\xi_6$ ). Untuk konsentrasi refrigeran dalam *strong solution* yang optimum direkomendasikan pada kisaran 0,3 – 0,4.



a. Grafik COP vs Strong Solution DAR-1

b. Grafik COP vs Strong Solution DAR-2

Gambar 2.10 Grafik COP vs Strong Solution

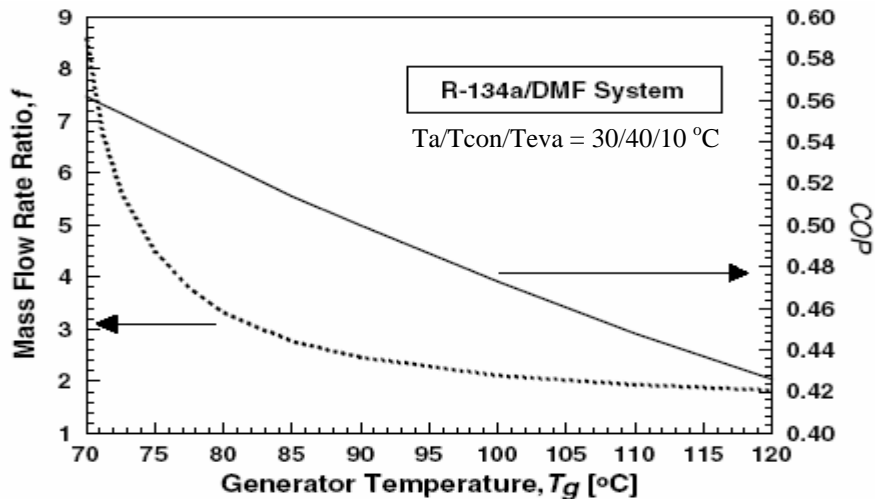
## 2.2.2 Beberapa Penelitian Penggunaan R22-Organic solvent Pada Absorption Refrigeration (AR) Cycles

A.Yokozeki; 2005 , telah melakukan penelitian secara teoritik pada sebuah siklus refrigerasi absorpsi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui performansi dari siklus refrigerasi dengan berbagai pasangan refrigeran-absorben. Ada dua puluh lima (25) pasang refrigeran-absorben yang digunakan, dimana refrigerannya adalah R32, R125, R134a, R152a, R22, R134 dan R143a, sedang sebagai absorbennya adalah dari kelompok ethers, ester, amides dan amines. Semua pasangan refrigeran-absorben dianalisa pada kondisi batas yang sama dengan menggunakan *equation of state* (EOS) model. Hasil analisa keseluruhan pasangan refrigeran-absorben seperti tersaji pada Tabel 2.1. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilihat bahwa pasangan refrigeran-absorben (R22-Organic solvent) mempunyai COP yang paling besar (pada kisaran 0,4-0,55) di luar pasangan  $\text{NH}_3$ -air dan air-LiBr. Dalam penelitian ini juga diperlihatkan bahwa pengaruh perubahan temperatur generator terhadap rasio laju aliran massa ( $f$ ) dan COP sistem. Gambar 2.11 memperlihatkan bahwa makin rendah temperatur generator maka makin besar rasio laju aliran massa ( $f$ ) dan makin besar juga COP yang didapat.

Tabel 2.1 Perbandingan performansi teoritis berbagai pasang refrigeran-absorben

Binary systems (1)/(2)	$P_{\text{con}}, P_g$ (kPa)	$P_{\text{eva}}, P_a$ (kPa)	$f$	$x_g$ (mass %)	$x_a$ (mass %)	$Q_c$ (kW)	COP
R-22/DEGDME	1531	680	2.22	57.7	31.7	161	0.425
R-22/TEGDME	1531	680	2.14	64.3	34.2	161	0.464
R-22/DMA	1531	680	2.23	48.6	26.8	161	0.472
R-22/DMF	1531	680	2.11	40.2	21.1	161	0.539
R-22/NMP	1531	680	2.16	51.9	27.9	161	0.484
R-32/PEB6	2486	1106	12.9	89.8	82.8	250	0.361
R-32/PEB8	2486	1106	22.7	91.6	87.5	250	0.277
R-125/PEC5	2011	909	4.95	85.5	68.2	82	0.194
R-125/PEB6	2011	909	4.71	85.2	67.1	82	0.204
R-125/PEB8	2011	909	7.01	87.7	75.1	82	0.167
R-125/PEC9	2011	909	13.4	89.6	82.9	82	0.117
R-134a/TEGDME	810	322	2.42	62.0	36.3	165	0.403
R-134a/PEC5	1015	414	8.51	89.7	79.1	151	0.248
R-134a/PEB6	1015	414	8.52	89.8	79.2	151	0.256
R-134a/PEB8	1015	414	12.5	91.7	84.3	151	0.200
R-134a/DMA	1015	414	2.32	65.4	37.3	151	0.444
R-134a/DMF	1015	414	2.14	61.3	32.7	151	0.473
R-134a/TEG-DME	1015	414	3.21	81.2	55.9	151	0.332
R-134a/TrEG-DME	1015	414	3.07	77.0	51.9	151	0.364
R-134a/DEG-DME	1015	414	2.65	71.7	44.6	151	0.392
R-143a/PEB6	1835	836	16.8	91.1	85.6	130	0.165
R-152a/PEC5	907	372	12.3	92.0	84.5	248	0.300
R-152a/PEC9	907	372	21.6	93.9	89.6	248	0.228
R-152a/PEB6	907	372	12.1	92.2	84.6	248	0.319
R-152a/PEB8	907	372	19.1	93.4	88.5	248	0.249
NH <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	1548	615	2.54	59.5	36.1	1112	0.646
H <sub>2</sub> O/LiBr	7.38	1.23	4.08	66.3	50.0	2502	0.833

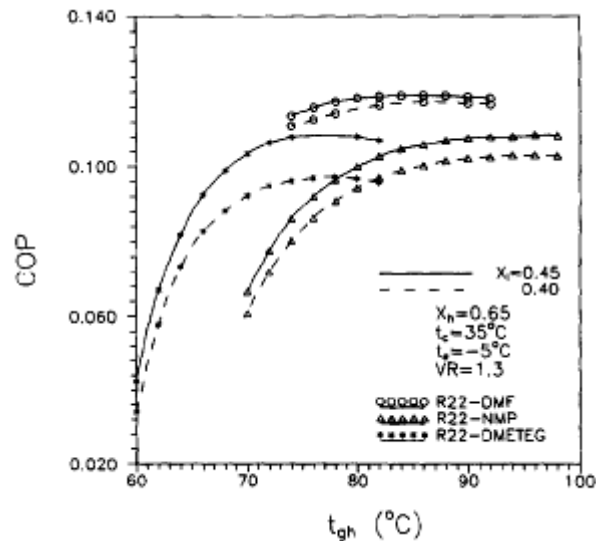
<sup>a</sup>Cycle conditions:  $T_g/T_{\text{con}}/T_a/T_{\text{eva}} = 100/40/30/10$  °C and  $m_r = 1$  kg/s. See Table 1 for the notation of absorbents.



Gambar 2.11 Grafik Pengaruh Temperature Generator terhadap COP dan Mass Flow Rate Ratio (f)

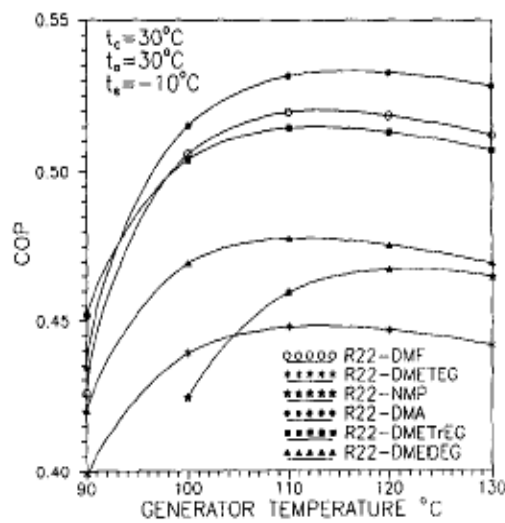
Krishnendu Das dan A.Mani; 1996 , telah melakukan penelitian pada siklus refrigerasi absorpsi yang digerakkan dengan tenaga surya. Dalam penelitian ini dilakukan studi komperatif performansi siklus dua tingkat dengan

menggunakan kombinasi refrigeran R22 dengan beberapa jenis absorben diantaranya DMF, NMP, dan TEGDME (E181). Metode penyelesaian penelitian ini adalah kajian teoritik dengan analisa secara thermodynamika. Berdasarkan hasil analisa (Gambar 2.12) didapatkan bahwa pasangan refrigeran-absorben (R22 – DMF) mempunyai performansi (COP) yang paling baik dibandingkan dengan yang lainnya.

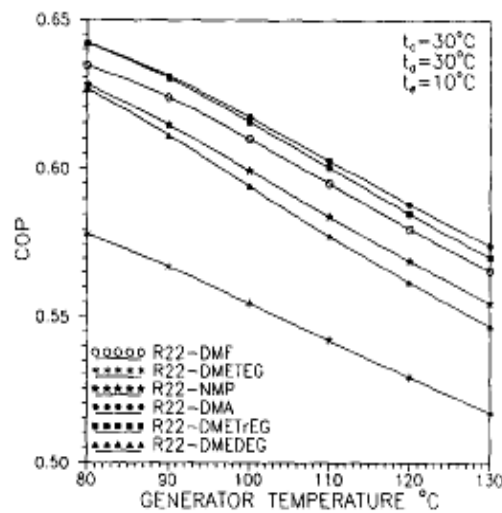


Gambar 2.12 Pengaruh Temperatur Generator vs COP Sistem

G.Karthikeyan, A.Mani dan S.Srinivasa Murthy; 1995 , telah melakukan penelitian pada siklus refrigerasi absorpsi (AR) dengan menggunakan *transfer-tank* sebagai alat untuk mensirkulasikan larutan. Refrigeran yang digunakan adalah R22 yang dipasangkan dengan berbagai absorben diantaranya DMA, DMF, NMP, TEGDME, TrEGDME dan DEGDME. Dengan melakukan analisa secara thermodynamik teoritik untuk mendapatkan beberapa besaran-besaran yang ingin dicapai seperti performansi sistem, serta pengaruh temperatur generator, absorber dan kondensor terhadap performansi (COP) sistem.



a. COP vs Temp. Generator pada Temperatur Evaporator  $-10^{\circ}\text{C}$

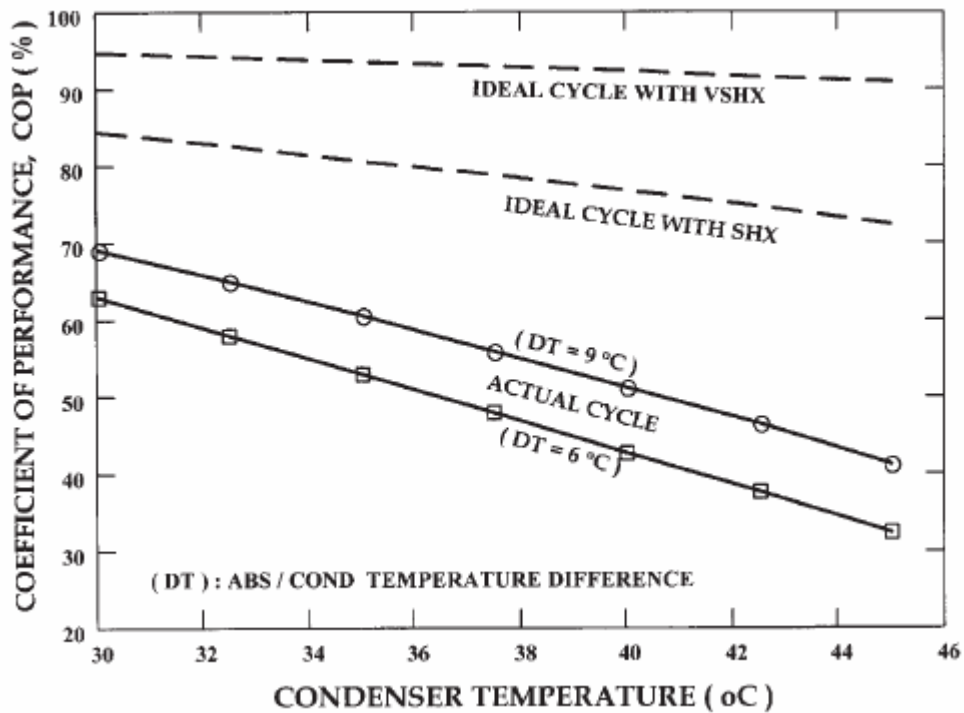


b. COP vs Temp. Generator pada Temperatur Evaporator  $10^{\circ}\text{C}$

Gambar 2.13 Grafik. COP vs Temperatur. Generator

Pada Gambar 2.13a terlihat bahwa pada temperatur evaporator ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) didapat kecendrungan bahwa COP naik dengan naiknya temperatur generator sampai pada kondisi operasi tertentu, dan selanjutnya terjadi penurunan COP dengan naiknya temperatur generator. Sedangkan pada Gambar 2.13b dengan temperatur evaporator ( $10^{\circ}\text{C}$ ) dapat dilihat bahwa COP sistem turun dengan naiknya temperatur generator.

E.D.Rogdakis; 2004 , telah melakukan penelitian/ pengkajian secara teoritik pada sebuah unit refrigerasi absorpsi untuk air dingin dengan menggunakan pasangan refrigeran absorben yaitu R22 – E181 (TEGDME). Pada penelitian ini disimulasikan besarnya performansi sistem dengan berbagai kondisi temperatur kondensor dalam rentang ( $30 - 40$ )  $^{\circ}\text{C}$ . Hasil ini juga digunakan untuk memprediksi efisiensi pada kondisi pembebanan penuh dan tidak penuh (*full-and part-load conditions*) sesuai dengan standar ARI 560-2000. Berdasarkan hasil analisa didapatkan bahwa COP sistem menurun dengan naiknya temperatur kondensor seperti terlihat pada Gambar 2.14. Dan besarnya *Integrated part-load value (IPLV)* dari COP yang didapat sebesar ( $53 - 60$ )%.



Gambar 2.14 Grafik.COP sistem vs Temperatur Kondensor

### 2.3 Propertis R22, DMF dan Campuran R22-DMF

*Thermodynamic properties* dari larutan dapat didekati dengan menggunakan persamaan yang dibangun oleh Fatouh (Fatouh dkk, 1993). Dengan memasukkan data yang didapat dalam pengujian ke dalam persamaan Fatouh, maka akan bisa diketahui besarnya enthalpy dari larutan dan besaran properties yang lainnya.

Besarnya enthalpy larutan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$h_s(T, \xi) = h_{Lr} \cdot \xi(T) + (1 - \xi) \cdot h_a(T) + h_{mix}(T, \xi) \quad (2.38)$$

dimana besarnya  $h_{mix}$  merupakan fungsi dari temperatur dan konsentrasi larutan yang dirumuskan sbb:

$$h_{mix}(T, \xi) = \{ [(1 - \xi) \cdot R \cdot T^2] / M_{mix} \} \cdot (K_0 \cdot Y_0 + K_1 \cdot Y_1 + K_2 \cdot Y_2 + K_3 \cdot Y_3) \quad (2.39)$$



Dimana;

$$Y_0 = \xi / (1 - \xi)$$

$$Y_1 = \xi / (1 - \xi) + \ln(1 - \xi)$$

$$Y_2 = 1 / (1 - \xi) - (1 - \xi) + 2 \cdot \ln(1 - \xi)$$

$$Y_3 = \xi / (1 - \xi) + \xi^2 / 2 + 2 \cdot \xi + 3 \cdot \ln(1 - \xi)$$

$$K_0 = B_0 / T^2 + 2 \cdot C_0 / T^3 - E_1 / T^2 + E_2 + E_3 / T$$

$$K_1 = B_1 / T^2 + 2 \cdot C_1 / T^3$$

$$K_2 = B_2 / T^2 + 2 \cdot C_2 / T^3$$

$\xi$  = Konsentrasi R-22 dalam larutan

T = temperatur (K)

Besarnya enthalpy *saturated liquid and vapour* R-22

$$h_{L,r}(T) = F_0 + F_1 \cdot T + F_2 \cdot T^2 \quad (2.40)$$

$$h_{sv,r}(T) = F_0 + F_1 \cdot T + F_2 \cdot T^2 \quad (2.41)$$

$$h_{sup,r}(P, T) = G_0 + G_1 \cdot T + G_2 \cdot T^2 + G_3 \cdot P + G_4 \cdot P \cdot T + G_5 \cdot P \cdot T^2 \quad (2.42)$$

dimana;  $F_i$  = konstanta, T = temperatur (K)

$G_i$  = konstanta, P = Tekanan (bar)

Besarnya enthalpy larutan DMF

$$h_{sl,a}(T) = F_0 + F_1 \cdot T + F_2 \cdot T^2 \quad (2.43)$$

dimana;  $F_j$  = konstanta, T = temperatur (K)

Besarnya tekanan uap larutan sangat tergantung dari temperatur T(°C) dan fraksi massa R-22 ( $\xi$ ), yang dapat dirumuskan sebagai berikut;

$$\ln P(T, \xi) = Co(\xi) + T^a \cdot C1(\xi) + T^b \cdot C2(\xi) + \ln T \cdot C3(\xi). \quad (2.44)$$

dimana:

$$\begin{aligned} Co(\xi) &= \sum_{i=0}^4 A_i \cdot \xi^i, & C1(\xi) &= \sum_{i=0}^3 B_i \cdot \xi^i, \\ C2(\xi) &= \sum_{i=0}^3 C_i \cdot \xi^i, & C3(\xi) &= \sum_{i=0}^3 D_i \cdot \xi^i \end{aligned}$$

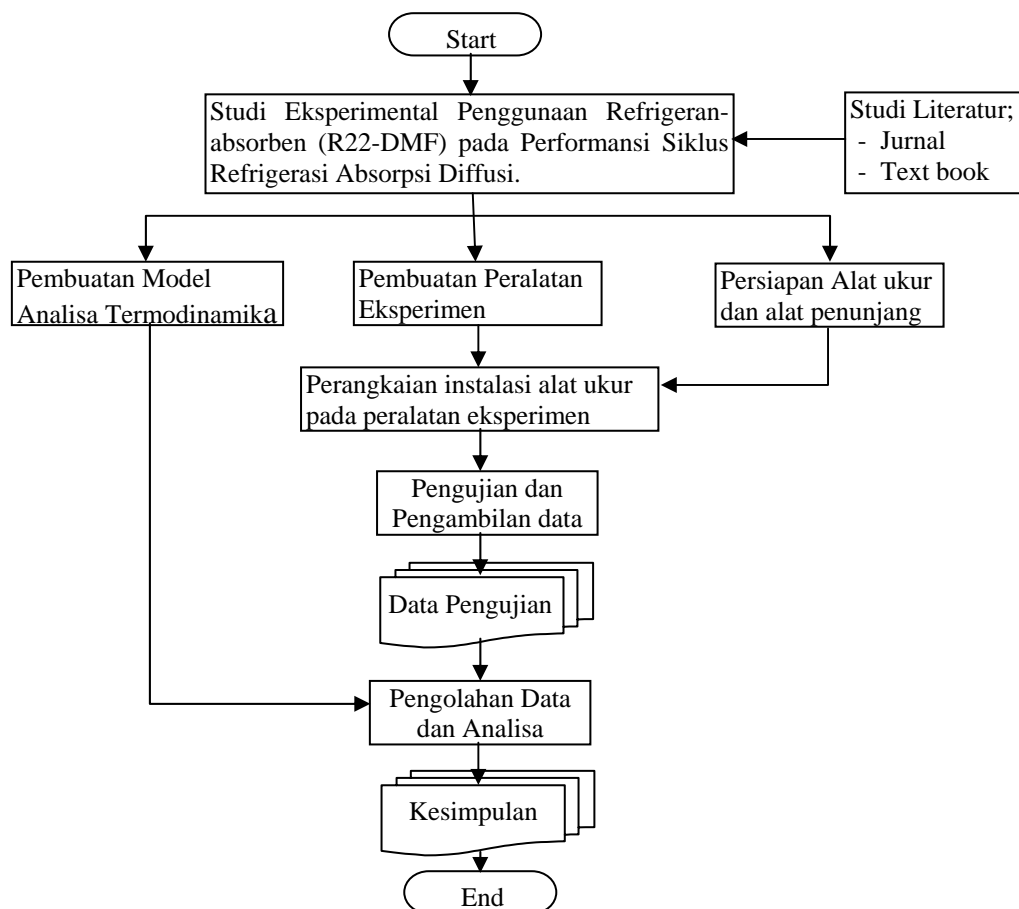
## BAB 3

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan langkah-langkah yang diambil dalam usaha mencapai tujuan yang telah direncanakan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Dalam bab ini akan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu; sistematika penelitian, peralatan eksperimen, rencana penelitian dan prosedur pengujian.

### 3.1 Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian digunakan untuk memudahkan mengetahui gambaran secara umum tentang proses penelitian yang dilakukan. Adapun sistematika penelitian selengkapnya disajikan dalam bentuk diagram alir (*flow chart*), sebagai berikut;



Gambar 3.1 *Flow Chart* Penelitian

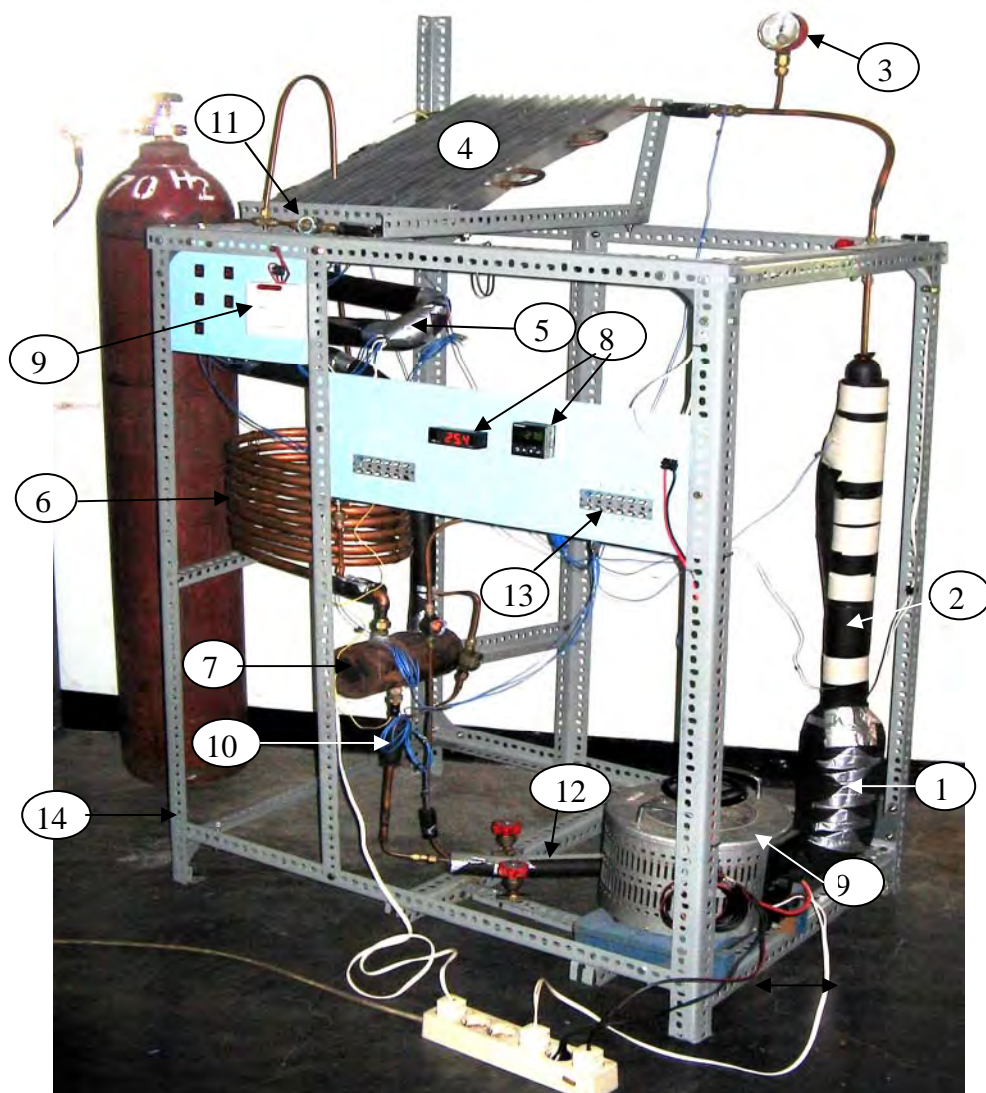
### **3.2 Peralatan Eksperimen**

Peralatan eksperimen yang dimaksud adalah peralatan eksperimen secara keseluruhan yang terdiri dari komponen-komponen peralatan beserta spesifikasinya serta penempatan dari masing-masing alat ukur yang digunakan.

#### **3.2.1 Komponen Peralatan**

Peralatan eksperimen yang telah dibuat lengkap dengan instalasi alat ukurnya, seperti terlihat pada Gambar 3.2 dengan komponen-komponen peralatan sebagai berikut:

1. Generator
2. Bubble pump
3. Pressure gauge
4. Kondensor
5. Evaporator
6. Absorber
7. Reservoir
8. Display
9. Voltage regulator
10. Thermocouple
11. Sign glass
12. Solution heat exchanger
13. Selector switch
14. Rangka penyangga peralatan eksperimen



Gambar 3.2 Instalasi Peralatan Eksperimen

### 3.2.2 Spesifikasi Masing-masing Komponen Peralatan

Komponen peralatan yang digunakan pada peralatan eksperimen ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

1 Generator:

Bahan	: pipa tembaga
Dimensi	: $\phi$ 3/8" dengan panjang 20 cm
Isolasi	: serat asbes , karet dan starflex
Heater	: jenis tubular (600 watt x16 cm)

2 *Bubble Pump:*

Bahan : pipa tembaga  
Dimensi :  $\phi$  5/16" dengan panjang 63 cm  
Isolasi : serat asbes dan starflex

3 *Pressure Gauge*

Jenis : tabung bourdon  
Range ukur : 0 - 350 psig

4 Kondensor

Jenis : pipa bersirip  
Bahan : pipa tembaga  
Dimensi :  $\phi$  3/8" dengan panjang  
Ririp : aluminium

5 Evaporator

Jenis : pipa  
Bahan : pipa tembaga  
Dimensi :  $\phi$  3/4" dengan panjang 90 cm  
Heater : jenis kabel (26 watt x 5 buah)  
Isolasi : karet dan starflex

6 Absorber

Jenis : pipa  
Bahan : pipa tembaga  
Dimensi :  $\phi$  5/8" x 7,5 m

7 *Reservoir*

Jenis : tabung  
Bahan : pipa baja  
Dimensi :  $\phi$  96 mm x 20cm

8 Display

Model/merk : DPI 16/  $\Omega$  Omega  
S/N : 1120861  
Tegangan : 90 – 240 volt



### 9 Voltage Regulator

Merk/model : ningbo china/ TDGC 2 J – 3  
Capasitas : 3 kva, 1 phase  
Input : 110/220 volt, 50 – 60 Hz  
Output : 0 – 240 volt  
I max : 4,8/12 Amp



### 10 Termokopel

Tipe : K da T  
Range ukur : tipe K (0 – 350)°C  
tipe T (-270 – 400)°C



### 11 Tang Ampere

Model/merk : DCM 400AD/ Sanwa  
Kapasitas : max 600 volt, 400 Ampere  
Jenis ukur : arus AC/DC, Voltage AC/DC  
dan tahanan  
Ketelitian : 0,01 Ampere AC/DC  
0,1 voltage AC/DC



### 12 Timbangan Digital

Model/merk : TIF.9010A/SPX  
Kapasitas : 55 kg  
Ketelitian : 0,001 kg



## 3.2.3 Lokasi Penempatan Alat Ukur

Beberapa alat ukur ditempatkan pada sistem refrigerasi untuk mendapatkan data ukur yang nantinya digunakan dalam proses analisa. Lokasi penempatan alat ukur di beberapa titik/lokasi pada sistem yang dianggap perlu, adalah seperti terlihat pada Gambar 3.3.

Adapun besaran-besaran fisis yang diukur, antara lain;

- Temperatur, dimana temperatur diukur dengan menggunakan termokopel jenis 'K' dan 'T' (dengan simbol;  $\text{---}\{\text{---}\}$ ) yang ditempatkan di tempat-tempat seperti terlihat pada Gambar 3.3.

-

Tabel 3.1 Rencana Penelitian

INPUT			
Parameter tetap	Voltage heater pada generator	140 volt	
		150 volt	
		160 volt	
		170 volt	
		180 volt	
		190 volt	
		200 volt	
		210 volt	
		220 volt	
		230 volt	
	Temperatur keluaran evaporator	20 °C	
Parameter berubah	Konsentrasi larutan masuk ke sistem	0,5; 0,6; 0,7 dan 0,8	
OUT PUT			
Diamati	P <sub>total</sub>	Dihitung	Q heater generator
	T <sub>1</sub> – T <sub>16</sub>		Q heater beban evaporator
	Voltage heater beban evaporator		Laju aliran massa ( <i>m<sub>rich sol</sub></i> ; <i>m<sub>ref</sub></i> ; <i>m<sub>weak sol</sub></i> )
	Ampere heater beban evaporator		COP
	Ampere heater generator		

### 3.4 Prosedur Pengujian

Prosedur atau langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan pengujian dan pengambilan data meliputi; langkah pemvakuman sistem, pengisian sistem dan pengujian.

#### 3.4.1 Pemvakuman Sistem

Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut;

- Mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan (pompa vakum, *charge manifold* dan kabel ekstensi)
- Menghubungkan selang *charge manifold* ke sistem dan ke pompa vakum



- c Membuka katup pada sistem dan pada *charge manifold*
- d Menghidupkan pompa vakum, kemudian amati jarum penunjuk pressure gauge pada *charge manifold*, sampai menunjukkan tekanan kira-kira -30 inch Hg.
- e Setelah tercapai tekanan tersebut, tutup katup pada sistem dan matikan pompa vakum.

### 3.4.2 Pengisian Sistem

Setelah sistem divakum, selanjutnya dilakukan pengisian sistem. Adapun langkah-langkah pengisian sistem adalah sebagai berikut;

- a Mempersiapkan peralatan dan fluida kerja yang digunakan (R22, DMF, timbangan, *charge manifold* dan pipa saluran pemasukan DMF)
- b Menghubungkan pipa penyaluran DMF ke sistem, kemudian mengisi pipa penyalur dengan DMF. Setelah terisi hubungkan ujung pipa satunya ke tabung DMF.
- c Meletakkan tabung DMF ke atas timbangan dan catat penunjukan awal timbangan.
- d Membuka katup pada sistem (dibuka dengan bukaan yang kecil), selanjutnya amati pengurangan penunjukan pada timbangan, sampai dicapai jumlah massa DMF yang masuk ke sistem seperti yang diinginkan (300 grm untuk konsentrasi 0,7; 400 grm untuk konsentrasi 0,6 dan seterusnya)
- e Bila jumlah massa DMF yang masuk ke sistem telah tercapai, selanjutnya tutup katup pada sistem.
- f Melepaskan pipa penyalur DMF, dan memasang selang *charge manifold* pada sistem dan pada tabung R22.
- g Membilas selang *charge manifold* dengan R22, kemudian letakkan tabung R22 di atas timbangan (Tabung R22 dalam posisi terbalik), dan catat penunjukan awal pada timbangan.
- h Membuka katup pada sistem (dibuka dengan bukaan yang kecil), selanjutnya amati pengurangan penunjukan pada timbangan, sampai dicapai jumlah massa refrigeran (R22) yang diinginkan.

Konsentrasi	0,5	0,6	0,7	0,8
R22	500 grm	600 grm	700 grm	800 grm
DMF	500 grm	400 grm	300 grm	200 grm

- i Setelah tercapai tutup katup pada sistem dan katup pada tabung refrigeran, kemudian lepas selang *charge manifold* pada tabung refrigeran.
- j Menghubungkan selang *charge manifold* ke tabung gas hidrogen, kemudian melakukan pembilasan pada selang.
- k Memasukkan gas hidrogen ke sistem dengan jalan membuka katup pada sistem secara perlahan-lahan hingga tekanan sistem mencapai 240 psig.
- l Bila sudah tercapai tutup kembali katup pada sistem dan pada tabung hidrogen.
- m Diamkan beberapa saat, selanjutnya sistem siap dijalankan.

### 3.4.3 Prosedur Pengujian

- a. Mempersiapkan alat uji dan peralatan lain yang diperlukan
- b. Setelah semuanya siap, sistem dihidupkan dengan meng “On” kan aliran listrik yang menuju ke heater generator, kemudian atur voltage dengan menggerakkan *handle voltage-regulator* hingga mencapai voltage input panas yang ditentukan.
- c. Setelah dianggap steady, pencatatan data pertama dilakukan dengan tanpa beban pada evaporator. (Data diambil sebanyak tiga kali)
- d. Selanjutnya pada evaporator diberi beban dengan menghidupkan heater pada evaporator. Pemberian beban pada evaporator diatur dengan menggunakan voltage regulator sampai didapatkan temperatur keluaran evaporator menunjukkan (20 °C). Kemudian datanya dicatat dalam lembaran data yang tersedia. (data diambil sebanyak tiga kali)
- e. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan inputan *voltage heater* generator yang berbeda (seperti yang telah ditentukan), dilanjutkan dengan melakukan langkah (c) dan (d), begitu seterusnya sampai semua variasi inputan generator didapat datanya.

Inputan generator. (Volt) Konsentrasi	140	150	.....	220	230
0,5	data	data		data	data

- f. Setelah data diambil, kemudian sistem dimatikan
- g. Membuang semua fluida kerja yang ada dalam sistem.
- h. Mengulangi proses mulai dari sub 3.4.1 sampai sub 3.4.3 untuk konsentrasi berikutnya (0,5 ; 0,6; 0,7; 0,8)
- i. Untuk masing-masing konsentrasi diambil datanya pada posisi input panas generator yang sama.

Inputan gen. (Volt) Konsentrasi	140	150	.....	220	230
0,5	data	data		data	data
0,6	data	data		data	data
0,7	data	data		data	data
0,8	data	data		data	data

#### Contoh Lembar data

Tabel data;      Tanggal :  
                             Konsentrasi larutan ( $\xi$ )<sub>inisial</sub> :

Inputan Generator: V= (volt) I= (ampere)										
No	Q <sub>evap</sub>		Tekanan P (psig)	Temperatur (°C)						
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	.....	T <sub>n-1</sub>	T <sub>n</sub>
1										
2										
3										
Inputan Generator: V= (volt) I= (ampere)										
1										
2										
3										

### **3.5 Tempat dan Waktu Pengambilan Data**

Tempat dan waktu pengambilan data penelitian ini adalah dilakukan di Laboratorium Teknik Pendingin, Jurusan Teknik Mesin- FTI, ITS Surabaya. Waktu pengambilan data dilakukan pada bulan September – Oktober 2007.



## **BAB 4**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data Hasil Eksperimen**

Di dalam melakukan pengambilan data eksperimen, perlu didahului dengan melakukan penyeragaman penunjukan alat ukur, yaitu dengan melakukan pembacaan awal. Dari data bacaan awal ini nantinya digunakan untuk mengkoreksi data-data eksperimen yang ditunjukkan pada masing-masing alat ukur. Adapun bacaan awal dari masing-masing alat ukur, ditunjukkan pada Tabel lampiran-1.

Data eksperimen diambil pada range voltage heater generator (140 – 230) volt dan pada beberapa konsentrasi larutan (R22-DMF) yang masuk ke sistem, yaitu pada konsentrasi larutan; 0,5; 0,6; 0,7 dan 0,8. Semua data eksperimen yang didapat, disajikan pada Tabel lampiran-2. Dari data pada Tabel lampiran-2 ini, kemudian dilakukan pengkoreksian data sehingga didapatkan data eksperimen terkoreksi seperti pada Tabel lampiran-3. Dari data eksperimen terkoreksi ini kemudian dirata-ratakan sehingga didapatkan satu data untuk masing-masing kondisi. Adapun hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel lampiran-4. Data eksperimen pada Tabel lampiran-4 ini selanjutnya digunakan dalam proses perhitungan dan analisis data yang diperlukan pada eksperimen ini.

#### **4.2 Perhitungan dengan Data Eksperimen**

Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan beberapa besaran yang diperlukan dalam proses analisis terhadap hasil eksperimen yang dilakukan. Sebagai contoh perhitungan, dilakukan dengan menggunakan data pada konsentrasi larutan 0,5 dengan set voltage heater generator 190 volt. Adapun datanya sebagai berikut:

- Konsentrasi larutan : 0,5
- Heater generator  $V = 190$  volt  
 $I = 1,98$  ampere
- Heater evaporator  $V = 106,0$  volt

$$I = 0,14 \text{ ampere}$$

- Temperatur sparator ( $T_2$ ) = 149,1 °C
- Temperatur larutan masuk generator ( $T_{14}$ ) = 98,7 °C
- Tekanan total sistem (P) = 250 psig

Dengan menggunakan data diatas, maka dapat dihitung beberapa besaran diantaranya:

- a. Energi panas yang masuk Generator ( $\dot{Q}_{gen}$ )

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{gen} &= V_{H,gen} \times I_{H,gen} \\ &= 190 \text{ (volt)} \times 1,98 \text{ (ampere)} \\ &= 376,2 \text{ (watt)}.\end{aligned}$$

- b. Energi panas yang diserap di evaporator ( $\dot{Q}_{evap}$ )

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{evap} &= V_{H,evap} \times I_{H,evap} \\ &= 106 \text{ (volt)} \times 0,14 \text{ (ampere)} \\ &= 14,8 \text{ (watt)}.\end{aligned}$$

- c. *Coefficient of performance (COP)*

$$\begin{aligned}COP &= \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{gen}} \\ &= \frac{14,8 \text{ (watt)}}{376,2 \text{ (watt)}} \\ &= 0,04\end{aligned}$$

- d. Laju aliran massa larutan yang menuju generator ( $\dot{m}_{s,14}$ )

Dengan menggunakan persamaan 2.38 sampai persamaan 2.43 serta data di atas maka akan didapat:

- Besarnya entalpi larutan yang masuk generator ( $h_{s,14}$ )  

$$h_{s,14} = 383,75 \text{ (kJ/kg)}$$
- Besarnya entalpi larutan yang menuju absorber ( $h_{a,2}$ )  

$$h_{a,2} = 507,7 \text{ (kJ/kg)}$$
- Besarnya entalpi gas refrigeran yang menuju kondensor ( $h_{g,2}$ )  

$$h_{g,ref,2} = 508,03 \text{ (kJ/kg)}$$

Dengan mengetahui besaran-besaran di atas maka dapat dihitung besarnya laju aliran massa larutan yang menuju generator, sebagai berikut;

$$\begin{aligned}\dot{m}_{s,14} &= \frac{\dot{Q}_{gen}}{\left[ \frac{1-\xi_{s,14}}{1-\xi_{a,2}} \cdot h_{a,2} + \frac{\xi_{s,14}-\xi_{a,2}}{1-\xi_{a,2}} \cdot h_{g,ref,2} - h_{s,14} \right]} \\ &= \frac{376,2 \text{ (J / s)}}{\left( \frac{1-0,5}{1-0,393} \cdot 507,2 \text{ (kJ / kg)} + \frac{0,5-0,393}{1-0,393} \cdot 508,03 \text{ (kJ / kg)} - 383,75 \text{ (kJ / kg)} \right)} \\ &= 0,00303 \quad \text{kg/s} \\ &= 3,03 \quad \text{gram/s}\end{aligned}$$

e. Laju aliran massa refrigeran yang menuju kondensor ( $\dot{m}_{g,ref,2}$ )

$$\begin{aligned}\dot{m}_{g,ref,2} &= \frac{\xi_{s,14}-\xi_{a,2}}{1-\xi_{a,2}} \cdot \dot{m}_{s,14} \\ &= \frac{0,5-0,393}{1-0,393} \cdot 3,03 \text{ (gram / s)} \\ &= 0,534 \quad \text{(gram/s)}\end{aligned}$$

f. Laju aliran massa larutan yang menuju absorber ( $\dot{m}_{a,2}$ )

$$\begin{aligned}\dot{m}_{a,2} &= \dot{m}_{s,14} - \dot{m}_{g,ref,2} \\ &= 3,03 - 0,534 \quad \text{(gram/s)} \\ &= 2,5 \quad \text{(gram/s)}.\end{aligned}$$

g. Rasio sirkulasi (*Circulation Ratio*)

$$\begin{aligned}CR &= \frac{\dot{m}_{s,14}}{\dot{m}_{g,ref,2}} \\ &= 3,03/0,534 \\ &= 5,67.\end{aligned}$$

Untuk perhitungan dengan menggunakan data yang lain, cara dan prosedurnya sama dengan contoh di atas. Untuk hasil selengkapnya dari hasil perhitungan yang dilakukan, dapat disajikan pada Tabel lampiran-5.



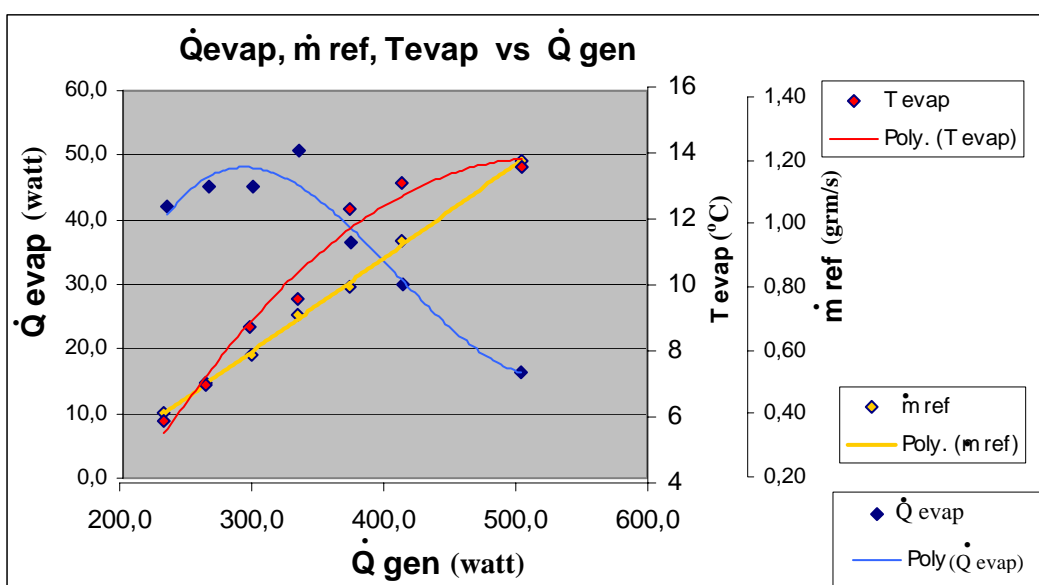
### 4.3 Analisis dan Diskusi

Berdasarkan hasil yang didapat dalam perhitungan, selanjutnya dibuat beberapa korelasi dari beberapa parameter yang ada, misalnya korelasi COP terhadap temperatur dan besar energi panas masukan pada generator. Dari korelasi yang dibuat akan dilakukan beberapa analisis terhadap hasil eksperimen.

#### 4.3.1 Analisis Pengaruh Masukan $\dot{Q}_{gen}$ terhadap *Cooling Load*

Dari perhitungan yang dilakukan pada berbagai konsentrasi larutan dan variasi daya heater generator, maka dapat dibuat grafik hubungan antara *cooling load* ( $\dot{Q}_{evap}$ ) terhadap daya heater generator ( $\dot{Q}_{gen}$ ) seperti pada Gambar 4.1.

[ $\dot{Q}_{evap} = f(\text{daya heater generator})$ ].



Gambar 4.1 Grafik  $\dot{Q}_{evap}, m_{ref}, T_{evap}$  vs  $\dot{Q}_{gen}$  pada Konsentrasi Larutan 0,7

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa mula-mula terjadi peningkatan panas yang diserap di evaporator ( $\dot{Q}_{evap}$ ) sampai mencapai puncak pada  $\dot{Q}_{gen}$  tertentu dan selanjutnya terjadi penurunan  $\dot{Q}_{evap}$  seiring dengan semakin besarnya masukan energi panas pada generator ( $\dot{Q}_{gen}$ ).

Panas yang diserap di evaporator ( $\dot{Q}_{evap}$ ) dari posisi puncak ke kiri semakin kecil, hal ini disebabkan semakin berkurangnya laju aliran massa

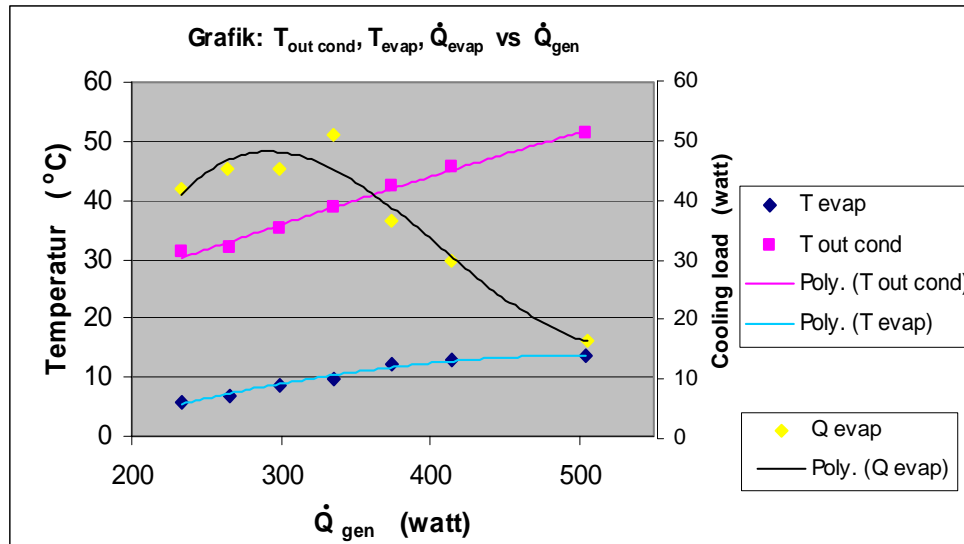
refrigeran pada evaporator. Karena  $\dot{Q}_{evap}$  merupakan fungsi linear dari laju aliran massa refrigeran, maka dengan berkurangnya laju aliran massa refrigeran akan mengurangi jumlah panas yang dapat diserap di evaporator sehingga *cooling load*-nya menurun ( $\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{ref} \cdot L$ ).

Setelah mencapai puncak, panas yang diserap di evaporator ( $\dot{Q}_{evap}$ ) juga semakin kecil dengan bertambahnya energi panas yang masuk generator ( $\dot{Q}_{gen}$ ). Hal ini disebabkan karena temperatur masuk evaporator semakin tinggi dengan bertambahnya  $\dot{Q}_{gen}$  (seperti terlihat pada Gambar 4.1). Bila temperatur masuk evaporator tinggi, maka tekanan parsial gas refrigeran (R22) juga tinggi. Tingginya tekanan parsial mengindikasikan bahwa massa refrigeran di dalam campuran (gas refrigeran dengan hidrogen) juga tinggi. Dengan tingginya massa refrigeran di dalam campuran tersebut, maka dibutuhkan tambahan sedikit massa refrigeran untuk mencapai tekanan parsial pada temperatur yang dipilih (20 °C). Dengan demikian, dibutuhkan sedikit energi panas ( $\dot{Q}_{evap}$ ) untuk menguapkan sedikit tambahan massa refrigerant tersebut. Atau dengan kata lain, semakin tinggi temperatur masuk evaporator, maka semakin sedikit refrigeran yang dapat menguap untuk mencapai temperatur (20 °C) yang telah ditetapkan sebagai temperatur maksimum pembebanan. Semakin sedikit refrigeran yang dapat menguap sampai temperatur tersebut, maka akan mengakibatkan penurunan *cooling load* ( $\dot{Q}_{evap}$ ).

Pada sistem DAR, laju aliran massa yang besar, tidak selalu menguntungkan, tapi dapat berbalik sebagai beban di evaporator sehingga temperatur masuk evaporator akan meningkat dan pada akhirnya akan mengurangi *cooling load* ( $\dot{Q}_{evap}$ ).

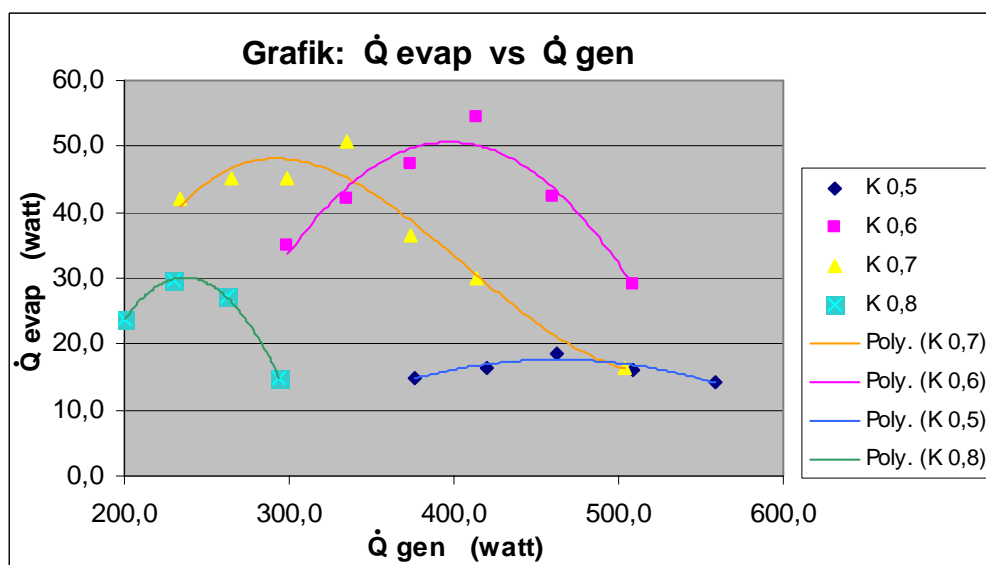
Pada Gambar 4.2, menunjukkan bahwa dengan bertambahnya masukan energi panas pada generator akan menyebabkan temperatur keluaran kondensor bertambah tinggi. Selanjutnya dengan bertambah tingginya temperatur keluaran kondensor, akan menjadi beban pada proses ekspansi yang akan menyebabkan temperatur masuk evaporator akan bertambah tinggi juga. Seperti yang dijelaskan

sebelumnya bahwa dengan meningkatnya temperatur masuk evaporator maka *cooling load*-nya akan semakin kecil.



Gambar 4.2 Grafik  $T_{out\ cond}$ ,  $T_{evap}$ ,  $\dot{Q}_{evap}$  vs  $\dot{Q}_{gen}$  pada Konsentrasi 0,7

Untuk semua konsentrasi larutan (0,5; 0,6; 0,7; dan 0,8) , hubungan ( $\dot{Q}_{evap}$  vs  $\dot{Q}_{gen}$ ) mempunyai kecenderungan yang sama seperti terlihat pada Gambar 4.3, hanya saja posisinya berbeda-beda antara satu konsentrasi dengan konsentrasi yang lainnya.

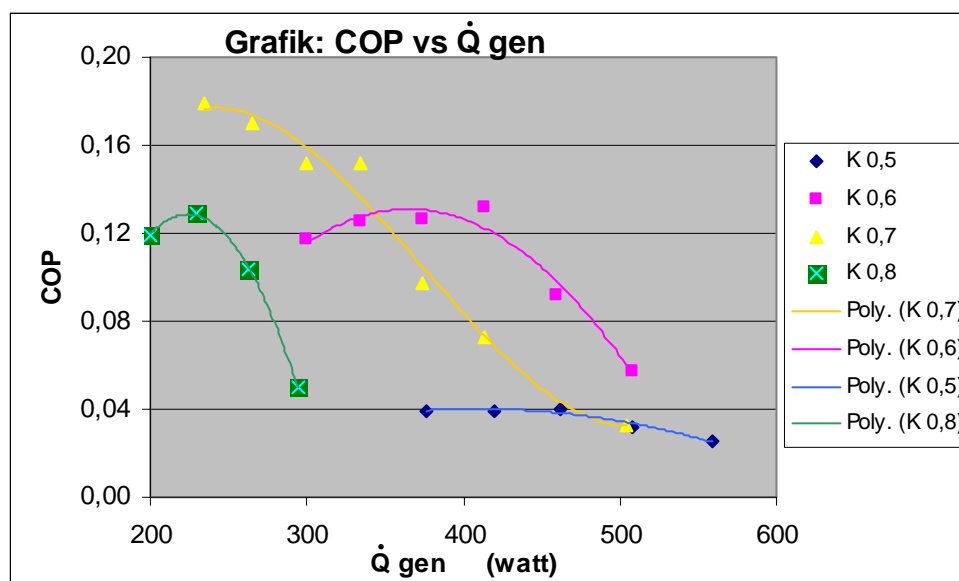


Gambar 4.3 Grafik  $\dot{Q}_{evap}$  vs  $\dot{Q}_{gen}$  pada Berbagai Konsentrasi Larutan

Pada gambar 4.3, juga dapat dijelaskan bahwa untuk masing-masing konsentrasi dibutuhkan persyaratan  $\dot{Q}_{gen}$  minimal agar sistem dapat mulai beroperasi. Pada konsentrasi larutan yang besar, dibutuhkan  $\dot{Q}_{gen}$  yang lebih kecil dibanding pada konsentrasi yang lebih kecil. Sebagai contoh misalnya pada konsentrasi larutan ( $\xi_s = 0,8$ ), sistem sudah dapat beroperasi dengan  $\dot{Q}_{gen}$  sekitar 230 watt. Sedang untuk konsentrasi ( $\xi_s = 0,5$ ) dibutuhkan  $\dot{Q}_{gen}$  sekitar 420 watt. Hal yang serupa juga dapat dilihat pada hasil eksperimen yang dilakukan oleh J.Chen (1996), seperti pada gambar 2.8.

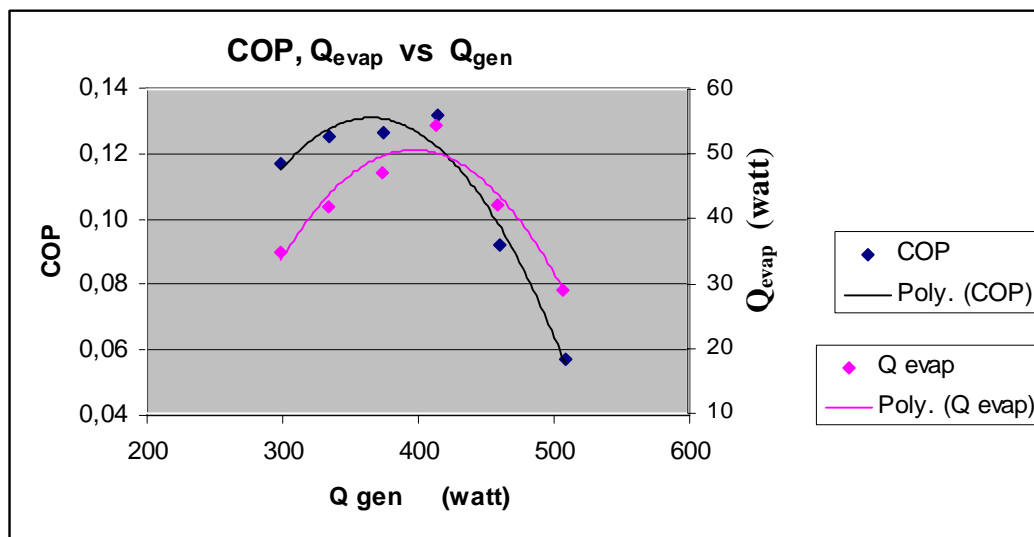
#### 4.3.2 Analisis Pengaruh Masukan Energi Panas pada Generator terhadap COP

Berdasarkan hasil pengolahan data, maka dapat dibuat suatu gambar grafik yang menjelaskan pengaruh perubahan masukan energi panas pada generator terhadap COP sistem, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4. Dari mulai sistem beroperasi terjadi peningkatan COP kemudian terjadi penurunan secara cepat seiring dengan bertambahnya masukan energi panas pada generator. Dalam hal ini dapat dikatakan bahwa COP sistem sangat sensitif terhadap perubahan masukan panas pada generator.



Gambar 4.4 Grafik COP vs  $\dot{Q}_{gen}$  pada Berbagai Konsentrasi Larutan

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa ada persyaratan  $\dot{Q}_{gen}$  minimal untuk masing-masing konsentrasi agar sistem dapat mulai beroperasi. Pada masing-masing konsentrasi memiliki COP maksimum sendiri-sendiri pada  $\dot{Q}_{gen}$  tertentu. COP sistem mencapai maksimum sesaat setelah sistem mulai beroperasi secara kontinyu dan mulai terdapat sedikit cairan refrigeran yang meninggalkan evaporator. Hal yang serupa juga dapat dilihat dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh J.Chen (1996) seperti pada Gambar 2.7, dimana COP maksimum terjadi dekat setelah sistem berjalan secara kontinyu.

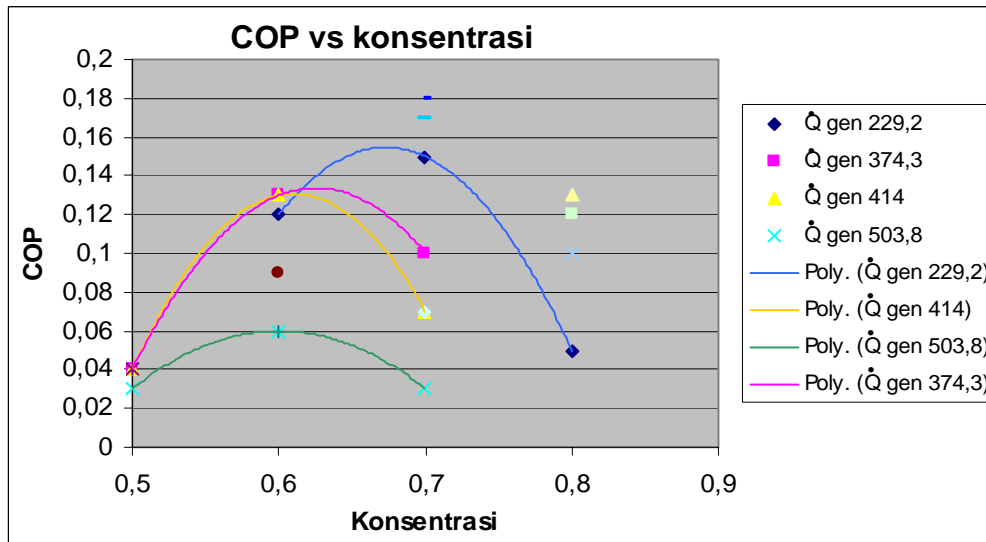


Gambar 4.5 Grafik COP,  $\dot{Q}_{evap}$  vs  $\dot{Q}_{gen}$  pada Konsentrasi Larutan 0,6

Karena COP merupakan perbandingan antara  $\dot{Q}_{evap}$  terhadap  $\dot{Q}_{gen}$ , maka besar naik turunnya juga ditentukan oleh kedua faktor tersebut. Seperti terlihat pada Gambar 4.5, setelah tercapai COP maksimum selanjutnya terjadi penurunan COP yang cukup tajam. Hal ini disebabkan karena *cooling load*-nya juga mengalami penurunan meskipun  $\dot{Q}_{gen}$  terus bertambah besar. Phenomena ini seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab 4.3.1. Dengan semakin kecilnya *cooling load* ( $\dot{Q}_{evap}$ ) sedang  $\dot{Q}_{gen}$  bertambah besar, maka secara langsung akan menyebabkan COP sistem juga semakin kecil.

### 4.3.3 Analisis Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap COP

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan, maka dapat dibuat gambar grafik pengaruh konsentrasi larutan terhadap COP sistem, seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik COP vs Konsentrasi Larutan pada Beberapa  $\dot{Q}_{gen}$

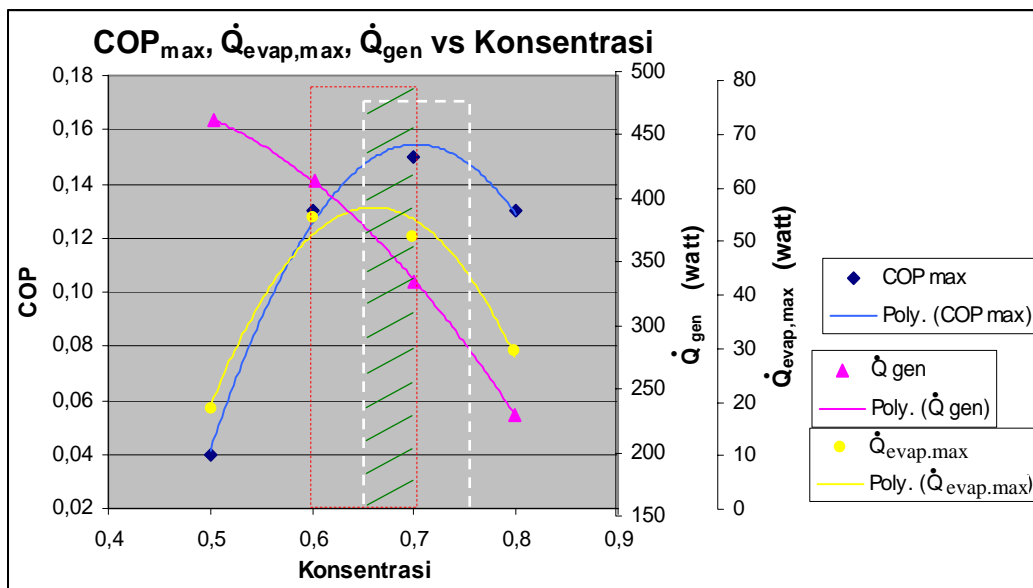
Pada Gambar 4.6 dapat dijelaskan bahwa konsentrasi larutan mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap COP sistem. Pada  $\dot{Q}_{gen}$  tertentu, COP sistem mula-mula terjadi peningkatan sampai mencapai puncak, kemudian turun secara drastis seiring dengan bertambah besarnya konsentrasi larutan yang masuk ke dalam sistem. Sebagai contoh misalnya pada  $\dot{Q}_{gen} = 229,2$  watt, dari konsentrasi larutan 0,6 mulai terjadi peningkatan COP sampai pada konsentrasi larutan 0,7 dan selanjutnya COP sistem turun secara drastis. Pada gambar juga terlihat bahwa makin besar  $\dot{Q}_{gen}$ , COP sistem akan semakin kecil.

Hal ini secara tipikal juga diperlihatkan pada tinjauan teoritis yang dilakukan oleh A.Zohar (2005) pada sistem DAR, meskipun dengan menggunakan refrigeran yang berbeda (seperti pada Gambar 2.10a), dimana

terdapat daerah konsentrasi tertentu yang menghasilkan COP sistem maksimum pada  $\dot{Q}_{gen}$  yang berbeda.

Pada masing-masing konsentrasi larutan mempunyai harga COP maksimum yang berbeda-beda. Dan bila dihubungkan satu dengan yang lainnya, maka akan membentuk suatu kurva  $COP_{max}$  seperti terlihat pada Gambar 4.7. Begitu juga pada masing-masing konsentrasi larutan, mempunyai colling load maksimum yang berbeda-beda pula dan kalau dihubungkan akan membentuk kurva yang serupa.

Berdasarkan Gambar 4.7, pada daerah konsentrasi larutan (0,65 - 0,75) akan menghasilkan COP sistem yang terbesar. Begitu juga pada konsentrasi larutan (0,6 - 0,7) menghasilkan cooling load ( $\dot{Q}_{evap}$ ) yang terbesar. Dan kalau kedua daerah ini diinterseksikan maka akan mendapatkan daerah konsentrasi larutan yang optimum (0,65 - 0,7), dimana akan menghasilkan COP dan cooling load yang terbesar seperti terlihat pada daerah arsiran Gambar 4.7.



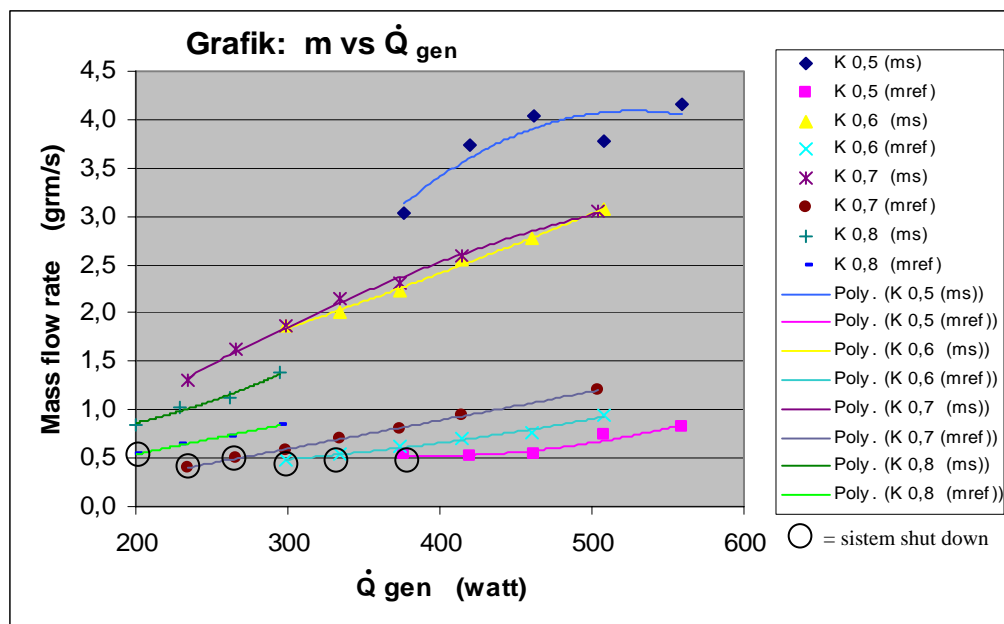
Gambar 4.7 Grafik  $COP_{max}$ ,  $\dot{Q}_{evap,max}$  vs Konsentrasi Larutan

#### 4.3.4 Analisis Pengaruh $\dot{Q}_{gen}$ Terhadap Mass Flow Rate Larutan ( $\dot{m}_s$ ) dan Refrigeran ( $\dot{m}_{ref}$ )

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan, maka dapat dibuat gambar grafik pengaruh  $\dot{Q}_{gen}$  terhadap mass flow rate larutan dan refrigeran, seperti pada Gambar 4.8.

Pada Gambar 4.8 dapat dijelaskan bahwa makin besar  $\dot{Q}_{gen}$ , maka laju aliran massa larutan ( $\dot{m}_s$ ) dan laju aliran massa refrigeran ( $\dot{m}_{ref}$ ) semakin besar, pada semua konsentrasi larutan. Pada gambar juga terlihat bahwa gradien pertambahan  $\dot{m}_s$  lebih besar dibanding dengan gradien pertambahan  $\dot{m}_{ref}$ .

Pada Gambar 4.8 juga dapat dijelaskan bahwa untuk masing-masing konsentrasi larutan dengan mass flow rate refrigeran mendekati ( $\dot{m}_{ref} = 0,5 \text{ grm/s}$ ), sistem mengalami *shut down* (berhenti beroperasi beberapa saat) atau dapat dikatakan sistem beroperasi secara stagnasi. Hal ini disebabkan karena besarnya energi panas yang diberikan pada generator tidak cukup untuk membangkitkan gelembung-gelembung gas refrigeran dengan laju minimum yang diperlukan dalam membangkitkan suatu aliran larutan pada "bubble pump". Phenomena ini adalah merupakan karakteristik dari "bubble pump".



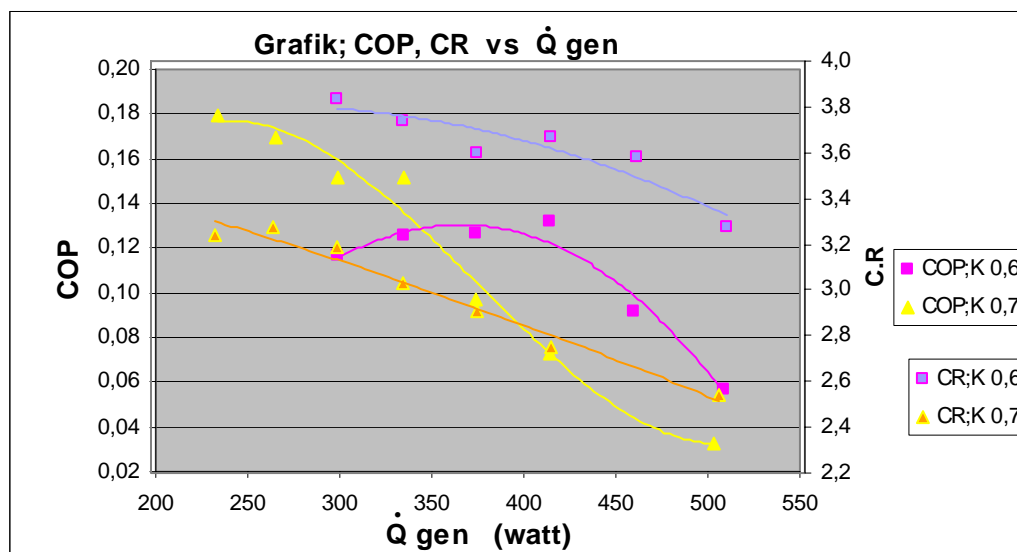
Gambar 4.8 Grafik Mass flow rate vs  $\dot{Q}_{gen}$



Untuk masing-masing konsentrasi larutan, terjadinya shut down pada  $\dot{Q}_{gen}$  yang berbeda-beda. Pada konsentrasi larutan yang lebih besar terjadinya *shut down* pada  $\dot{Q}_{gen}$  yang lebih kecil sedang pada konsentrasi larutan yang lebih kecil terjadi shut down pada  $\dot{Q}_{gen}$  yang besar. Sebagaimana diketahui bahwa pada tekanan yang sama, untuk konsentrasi larutan yang lebih rendah, proses desorpsi berlangsung pada temperatur yang tinggi dan begitu sebaliknya. Dengan demikian untuk konsentrasi larutan yang lebih rendah akan membutuhkan energi panas yang lebih besar sedang pada konsentrasi larutan yang lebih besar akan membutuhkan energi panas yang lebih kecil ( $\dot{Q} = \dot{m}.c.\Delta T$ ).

#### 4.3.5 Analisis Pengaruh *Circulation Ratio* (CR) Terhadap COP

Berdasarkan hasil pengolahan data, dapat dibuat gambar grafik pengaruh *circulation ratio* terhadap COP sistem, seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik COP, *Circulation Ratio* vs  $\dot{Q}_{gen}$

*Circulation ratio* atau *mass flow rate ratio* adalah merupakan perbandingan antara laju aliran massa larutan yang masuk generator ( $\dot{m}_s$ ) terhadap laju aliran massa refrigeran yang menuju kondensor ( $\dot{m}_{ref}$ ). Pada

Gambar 4.9 dapat dijelaskan bahwa semakin besar  $\dot{Q}_{gen}$ , rasio sirkulasi semakin kecil. Rasio sirkulasi semakin kecil artinya prosestase kenaikan  $\dot{m}_{ref}$  lebih besar dibanding dengan kenaikan  $\dot{m}_s$ . Hal ini secara tipikal juga diperlihatkan pada tinjauan teoritis yang dilakukan oleh A.Yokozeki (2005) seperti pada Gambar 2.11.

Sebagaimana dibahas pada sub bab-4.3.1, bahwa semakin besar  $\dot{m}_{ref}$  mengakibatkan cooling load-nya semakin kecil. Cooling load semakin kecil selanjutnya menyebabkan COP sistem akan mengalami penurunan. Dalam hal ini secara tidak langsung rasio sirkulasi juga mempengaruhi besarnya COP sistem, dimana semakin kecil rasio sirkulasi maka COP sistem akan mengalami penurunan, seperti terlihat pada Gambar 4.9.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan kajian dan analisis-analisis yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain:

- 1 Penelitian secara eksperimental penggunaan pasangan refrigeran-absorben (R22-DMF) pada siklus refrigerasi absorpsi difusi, telah dapat dilakukan dan berhasil dengan baik.
- 2 *Coefficient of Performance* (COP) sistem sangat sensitif terhadap perubahan konsentrasi larutan yang masuk ke sistem dan terhadap perubahan masukan energi panas pada generator ( $\dot{Q}_{gen}$ ).
- 3 COP maksimum yang dapat dicapai pada eksperimen ini adalah sebesar 0,15 pada konsentrasi larutan 0,7. Dan *cooling load* ( $\dot{Q}_{evap}$ ) maksimumnya sebesar 54,5 watt pada konsentrasi larutan 0,6
- 4 Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, didapatkan bahwa konsentrasi optimum larutan yang masuk ke sistem adalah (0,65 – 0,7), dimana akan menghasilkan COP dan cooling load yang terbesar.

#### 5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan pada penelitian lebih lanjut pada siklus DAR, maka perlu dilakukan penelitian pendahuluan. Penelitian pendahuluan meliputi; penelitian tentang sistem *bubble pump*-nya, sistem evaporator dan sistem absorpsinya secara terpisah. Disamping itu pada eksperimen ini belum menggunakan alat ukur laju aliran massa. Disarankan pada penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan alat ukur *flow meter* sehingga didapat hasil yang lebih akurat sehingga analisisnya bisa lebih tajam.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arora,C.P, (2001), *Refrigeration and Air Conditioning*, Second Edition, International Edition, Mc.Graw-Hill
- Agarwal. R.S, Bapat. S.L, (1982), "Solubility Characteristics of R22-DMF Refrigerant-absorbent Combination", *Mechanical Engineering Departement. IIT. Bombay, India*.
- Agarwal. R.S, Waleed. A.F, (1993), "Transport Properties of R22-DMF Mixtures", *Energy Convers Mgmt*, Vol.34, No.3, pp.223-229.
- Chen.J, Kim.J and Herol.K.E, (1996), "Performance Enhancement of a Diffusion-absorption Refrigerator", *Int. J. Refrig.* Vol.19, N0.3, pp.208-218.
- Fatouh.M, S. Srinivasa Murthy, (1993), "Comparison of R22-Absorbent Pairs for Vapour Absorption Heat Transformers Based on P-T-X-H Data", *Heat Recovery system & CHP*, Vol. 13, N0.1, pp.33-48.
- Kathikeyan.G, Mani.A and Srinivasa Murthy.S, (1995), "Performance of different warking fluids in transfer-tank operated vapour absorption refrigeration system", *Technical note Renewable Energy*, Vol.6, N0.7, pp.835-842.
- Krishnendu Das and Mani.A, (1996), "Comparative Study of Cycle Performance for a Two Stage Intermitten Solar Refrigerator Working with R22-Absorbent Combinations", *Energy Comvers Mgmt*, Vol.37, N0.1, pp.87-93.
- Koyfman.A, Jelinek.M, Levy.A, Borde.I, (2003), "An experimental Investigation of Bubble Pump Performance for Diffusion Absorption Refrigeration System with Organic Working Fluids", *Applied Thermal Engineering*; **23**, pp.1881-1894.
- Rogdakis.E.D, (2004), "R22-E181 absorption water chilling package thermodynamics and performance in the range of ARI 560-2000 standard rating conditions", *Int. J. Energy Res*; **28**: 81-99.
- Susan Jennifer White, (2001), *Bubble Pump Design and Performance*, A.Thesis, Master of science in Mechanical Engineering Georgia Institute of Technoligy.
- Sathe Abhijit, (2001), *Experimental and Theoretical Studies on a Bubble Pump for a Diffusion-absorption Refrigeration System*, Master Thesis, <http://www.geocities.com/abhijitsathe>.
- Yokozeki.A, (2005), "Theoretical Performances of Various Refrigerant-absorbent Pairs in a vapor-absorption Refrigeration Cycle by the use of Equations of state", *Int. J. Applied Energy*; **80**, pp.383-399.
- Zohar.A, Jelinek.M, Levy.A, (2005, "The Influence of Diffusion Absorption Refrigeration Cycle Configuration on the Performance", *Int. J. Applied Thermal Energy*; **xxx**, pp.xxx-xxx.
- Zohar.A, Jelinek.M, Levy.A, Borde.I, (2005), "Numerical Investigation of a Diffusion Absorption Refrigeration Cycle", *International Journal of Refrigeration*; **28**, pp.515-525.



### Lampiran-1

Bacaan Awal Alat Ukur Temperatur

No	TEMPERATUR (°C)														
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>
	26,9	26,9	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,2	27,2	27,0	27,2	27,1	27,2



## Lampiran-2

Data Eksperimen.

Hari/ tgl : Jumat, 5 okt '07

Konsentrasi larutan : 0,5

Temperatur ruangan : 28 °C

Masukan Generator; V= 190 volt, I =1,98 ampere																			R22 cair pada sign glass kel. Evap
No	Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1				147,0	145,8	109,4	29,9		19,9	19,8	20,3	46,7	53,7	34,6	32,4	91,4	90,1	38,2	
2	106,0	0,14	250	150,0	148,9	111,7	30,2	8,5	20,0	20,0	20,3	47,4	55,6	34,7	32,5	99,8	100,6	38,9	tidak ada
3				153,0	152,0	114,5	30,9		20,1	20,0	20,4	48,1	59,8	35,5	32,5	112,9	105,3	41,6	(shut down)
Masukan Generator; V= 200 volt, I = 2,1 ampere																			
1				138,0	136,9	108,2	31,6		20,0	19,9	20,4	49,4	69,0	38,0	34,8	118,0	98,4	41,3	
2	110,0	0,15	250	144,0	143,0	110,8	31,5	8,7	19,9	20,0	20,3	50,2	70,1	38,3	34,9	116,4	94,0	43,1	tidak ada
3				150,0	148,8	112,5	31,3		20,1	20,0	20,5	53,8	73,5	38,9	34,9	115,3	104,8	45,5	
Masukan Generator; V= 210 volt, I = 2,0 ampere																			
1				150,0	149,1	117,5	31,1		20,0	19,9	20,3	58,9	73,6	40,5	36,7	122,2	99,8	47,0	
2	116,0	0,16	260	145,0	144,0	114,9	30,9	10,1	19,9	19,9	20,3	57,3	68,9	40,7	36,5	126,1	95,1	45,6	ada
3				154,0	142,9	123,4	31,9		20,1	20,0	20,4	56,6	75,1	40,9	36,8	115,3	104,2	46,8	
Masukan Generator; V= 220 volt, I =2,31 ampere																			
1				150,0	148,9	120,1	31,7		19,9	19,9	20,3	59,6	76,4	42,4	38,0	116,5	96,5	52,2	
2	108,0	0,15	265	158,0	157,1	121,9	32,4	11,7	20,0	19,9	20,4	60,6	78,5	42,4	38,0	118,4	97,9	54,5	ada
3				165,0	163,8	123,8	33,2		20,1	20,0	20,5	61,4	81,6	42,5	38,0	123,7	105,0	55,5	
Masukan Generator; V= 230 volt, I =2,43 ampere																			
1				152,0	151,7	122,4	32,3		19,9	19,8	20,4	59,8	78,3	41,4	38,5	117,5	98,1	53,3	
2	102,0	0,14	270	160,0	158,8	125,3	33,7	12,5	20,0	20,0	20,6	61,3	80,5	41,6	38,6	120,7	100,9	54,1	ada
3				167,0	165,9	127,5	34,5		20,1	20,0	20,7	62,1	84,7	41,7	38,6	125,2	104,4	56,6	

## Lampiran-2 (lanjutan)

Data Eksperimen.

Hari/ tgl : Rabu, 3 okt '07

Konsentrasi larutan : 0,6

Temperatur ruangan : 28 °C

Masukan Generator; V= 170 volt, I =1,76 ampere																			R22 cair pada sign glass kel. Evap
No	Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1				133,0	132,1	85,9	31,0		20,0	19,8	20,1	43,1	54,9	36,3	32,6	80,7	83,1	44,9	
2	159,0	0,22	245	130,0	129,0	85,5	30,5	4,2	19,9	19,8	20,0	42,3	55,9	36,3	33,0	85,4	79,4	45,7	tidak ada
3				138,0	137,2	85,9	30,7		20,1	20,0	20,1	41,9	53,4	35,4	32,7	81,5	85,0	45,1	(shut down)
Masukan Generator; V= 180 volt, I =1,86 ampere																			
1				135,0	134,0	89,7	32,9		20,0	20,0	20,1	46,7	58,0	37,4	34,0	81,0	81,0	46,7	
2	175,0	0,24	245	133,0	131,9	91,6	32,8	4,9	19,9	19,9	20,0	42,5	55,6	35,8	33,7	82,3	78,9	47,4	ada sedikit
3				137,0	136,1	92,9	31,6		20,1	20,0	20,2	45,4	55,6	37,2	33,8	84,1	82,4	46,9	(shut down)
Masukan Generator; V= 190 volt, I =1,97 ampere																			
1				137,0	136,0	97,9	33,8		20,0	19,9	20,2	47,5	58,6	37,8	33,8	83,2	80,7	48,9	
2	189,0	0,25	248	136,0	135,2	96,6	32,7	6,1	20,1	20,0	20,3	44,5	60,0	36,0	33,6	94,1	82,8	47,3	ada sedikit
3				139,0	137,8	98,0	33,1		19,9	19,8	20,1	49,0	62,2	38,0	34,0	88,1	81,8	48,5	
Masukan Generator; V= 200 volt, I =2,07 ampere																			
1				137,0	136,1	96,5	35,0		19,9	19,8	20,2	50,0	65,4	38,7	34,8	91,1	84,3	48,2	
2	202,0	0,27	250	140,0	139,0	99,3	34,9	7,5	20,1	20,0	20,3	50,2	63,7	39,2	34,9	89,9	84,6	48,7	ada
3				135,0	134,0	98,8	35,4		20,0	19,9	20,3	49,9	62,4	39,3	35,0	92,1	82,9	49,5	
Masukan Generator; V= 210 volt, I =2,19 ampere																			
1				139,0	137,8	103,1	40,6		20,0	19,9	20,5	53,0	67,5	40,2	35,8	94,8	83,9	52,8	
2	176,0	0,24	250	140,0	138,9	102,7	42,4	9,2	20,1	20,0	20,6	54,6	69,9	40,3	35,8	96,7	83,5	52,7	ada
3				137,0	136,0	102,4	40,2		19,9	19,9	20,4	53,1	67,8	40,5	35,8	95,5	82,2	52,2	
Masukan Generator; V= 220 volt, I =2,31 ampere																			
1				145,5	144,6	113,2	46,3		19,9	19,8	20,6	53,3	68,2	39,4	34,7	97,9	85,1	56,5	
2	145,0	0,2	253	142,0	140,8	119,9	47,5	12,0	20,1	20,0	20,8	54,6	70,4	40,0	34,7	97,5	87,7	55,0	ada
3				144,0	142,6	114,0	45,8		20,0	19,9	20,7	53,3	68,4	40,0	34,9	95,3	87,3	56,5	

**Lampiran-2 (lanjutan)**

Data Eksperimen.

Hari/ tgl : Minggu, 30 Sept '07

Konsentrasi larutan : 0,7

Temperatur ruangan : 28 °C

Masukan Generator; V= 150 volt, I =1,56 ampere																			R22 cair pada sign glass kel. Evap
No	Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1				115,0	114,3	81,9	31,0		19,7	19,7	20,0	37,6	38,5	34,1	29,7	49,0	77,2	35,9	
2	175,0	0,24	245	110,4	109,8	79,4	31,4	5,9	19,9	19,8	20,3	40,0	45,7	35,4	30,6	59,4	71,1	44,6	tidak ada
3				116,6	115,9	81,1	31,8		20,1	20,1	20,4	39,1	42,2	35,2	30,9	57,1	42,0	44,0	(shut down)
Masukan Generator; V= 160 volt, I =1,66 ampere																			
1				118,7	118,3	83,3	31,2		20,2	20,1	20,6	38,8	41,7	34,5	31,6	57,8	74,8	43,5	
2	180,5	0,25	248	117,0	116,4	82,0	31,5	7,0	20,0	20,0	20,4	39,0	42,8	35,0	31,3	59,3	72,4	44,8	tidak ada
3				113,0	112,3	80,3	32,6		19,9	19,8	20,3	70,8	47,1	36,1	31,2	62,8	71,5	45,5	(shut down)
Masukan Generator; V= 170 volt, I =1,76 ampere																			
1				109,6	109,0	82,2	36,1		20,0	20,0	20,2	42,1	48,0	37,1	32,1	64,7	70,3	47,2	
2	181,2	0,25	250	115,0	114,1	83,4	34,2	8,7	20,1	20,0	20,4	40,9	45,2	36,4	32,1	60,1	73,7	46,6	tidak ada
3				113,2	112,4	83,9	34,9		19,9	19,9	20,3	41,5	46,7	36,0	32,0	62,4	72,4	47,3	
Masukan Generator; V= 180 volt, I =1,86 ampere																			
1				109,1	108,6	83,8	38,8		19,9	19,9	20,3	42,1	49,7	37,6	32,6	67,6	74,2	47,5	
2	195,5	0,26	250	109,5	108,8	83,7	38,5	9,6	20,1	20,1	20,5	42,4	51,1	37,7	32,5	71,5	70,4	48,7	ada sedikit
3				110,0	109,3	84,2	38,9		20,0	20,0	20,6	43,0	50,5	38,1	32,8	70,8	70,3	48,5	
Masukan Generator; V= 190 volt, I =1,97 ampere																			
1				109,7	109,0	83,5	43,1		20,0	19,9	20,7	45,3	54,6	39,0	33,6	71,8	68,3	49,7	
2	165,6	0,22	260	111,2	110,6	83,8	41,6	12,3	20,1	20,0	20,8	45,0	53,7	38,7	33,7	73,4	69,3	49,7	ada
3				108,3	107,6	83,7	42,6		19,9	19,8	20,6	45,1	54,3	39,1	33,8	72,5	69,4	49,6	
Masukan Generator; V= 200 volt, I =2,07 ampere																			
1				107,1	106,5	85,1	46,0		20,0	19,9	20,8	47,4	57,3	39,9	34,7	77,5	70,3	50,8	
2	150,0	0,2	260	111,7	110,9	84,9	45,5	13,1	20,1	20,0	20,9	47,3	57,9	39,8	34,4	78,2	70,0	50,3	ada
3				112,4	111,8	84,4	45,6		20,0	20,0	20,8	47,7	58,3	39,8	34,6	78,0	70,2	50,3	
Masukan Generator; V= 220 volt, I =2,29 ampere																			
1				128,5	127,4	107,1	51,3		19,9	19,8	20,5	43,0	49,3	35,7	30,4	72,7	78,7	56,7	
2	110,1	0,15	260	130,1	129,2	109,8	52,0	13,6	20,1	20,0	20,8	43,1	49,0	35,7	30,7	73,4	79,3	57,3	ada
3				129,4	128,5	106,5	50,9		20,0	20,0	20,8	43,3	50,1	35,8	31,1	73,9	79,7	57,1	

## Lampiran-2 (lanjutan)

Data Eksperimen.

Hari/ tgl : Minggu, 7 Okt '07

Konsentrasi larutan : 0,8

Temperatur ruangan : 28 °C

Masukan Generator; V= 140 volt, I=1,43 ampere																			R22 cair pada sign glass kel. Evap
No	Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1				130,0	129,8	70,0	29,8		20,1	20,0	20,4	36,4	32,5	30,8	28,4	35,4	47,6	41,6	
2	132,8	0,18	250	140,0	139,1	62,7	30,1	9,0	19,9	19,8	20,2	35,8	31,7	30,6	28,5	35,4	45,8	43,0	ada
3				135,0	134,0	70,2	29,5		20,0	20,0	20,3	36,3	32,5	30,5	28,4	33,5	47,9	38,9	(shut down)
Masukan Generator; V= 150 volt, I=1,53 ampere																			
1				137,0	136,2	71,0	30,3		19,9	19,8	20,2	36,9	32,3	30,2	27,9	35,1	55,6	43,8	
2	148,2	0,2	250	135,7	134,6	70,5	30,2	9,4	20,0	19,9	20,3	36,2	32,0	30,5	28,1	34,2	55,2	45,4	ada
3				132,0	131,0	72,4	30,2		20,1	20,0	20,4	36,7	32,1	30,5	28,3	34,3	54,7	44,1	
Masukan Generator; V= 160 volt, I= 1,64 ampere																			
1				145,0	144,3	74,6	31,3		19,9	19,8	20,0	36,9	32,5	30,5	27,8	34,4	53,8	41,3	
2	143,5	0,19	250	143,0	142,1	74,6	34,0	11,5	20,0	19,9	20,3	36,7	32,3	30,3	27,8	36,0	52,2	50,2	ada
3				139,0	138,0	73,4	31,7		20,1	20,0	20,4	36,4	32,4	30,4	27,4	34,6	55,0	46,2	
Masukan Generator; V= 170 volt, I=1,73 ampere																			
1				125,0	124,0	80,1	39,6		19,9	19,8	20,3	35,4	32,1	30,0	26,2	36,0	57,8	48,7	
2	105,4	0,14	250	130,0	129,1	81,6	40,1	14,7	20,0	19,9	20,3	34,9	32,0	29,7	26,5	35,0	57,2	49,1	ada
3				135,0	133,9	80,0	38,2		20,1	20,0	20,4	34,5	32,0	30,3	26,7	35,9	57,3	49,7	

### Lampiran-3

Data Eksperimen Terkoreksi.

Hari/ tgl : Jumat, 5 Okt '07

Konsentrasi larutan : 0,5

Temperatur ruangan : 28 °C

Masukan Generator; V= 190 volt, I =1,98 ampere																			R22 cair pada sign glass kel. Evap
No	Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1				147,2	146,0	109,4	29,9		19,9	19,8	20,3	46,7	53,6	34,5	32,5	91,3	90,1	38,1	
2	106,0	0,14	250	150,2	149,1	111,7	30,2	8,5	20,0	20,0	20,3	47,4	55,5	34,6	32,6	99,7	100,6	38,8	tidak ada
3				153,2	152,2	114,5	30,9		20,1	20,0	20,4	48,1	59,7	35,4	32,6	112,8	105,3	41,5	(shut down)
Masukan Generator; V= 200 volt, I = 2,1 ampere																			
1				138,2	137,1	108,2	31,6		20,0	19,9	20,4	49,4	68,9	37,9	34,9	117,9	98,4	41,2	
2	110,0	0,15	250	144,2	143,2	110,8	31,5	8,7	19,9	20,0	20,3	50,2	70,0	38,2	35,0	116,3	94,0	43,0	tidak ada
3				150,2	149,0	112,5	31,3		20,1	20,0	20,5	53,8	73,4	38,8	35,0	115,2	104,8	45,4	
Masukan Generator; V= 210 volt, I = 2,0 ampere																			
1				150,2	149,3	117,5	31,1		20,0	19,9	20,3	58,9	73,5	40,4	36,8	122,1	99,8	46,9	
2	116,0	0,16	260	145,2	144,2	114,9	30,9	10,1	19,9	19,9	20,3	57,3	68,8	40,6	36,6	126,0	95,1	45,5	ada
3				154,2	143,1	123,4	31,9		20,1	20,0	20,4	56,6	75,0	40,8	36,9	115,2	104,2	46,7	
Masukan Generator; V= 220 volt, I =2,31 ampere																			
1				150,2	149,1	120,1	31,7		19,9	19,9	20,3	59,6	76,3	42,3	38,1	116,4	96,5	52,1	
2	108,0	0,15	265	158,2	157,3	121,9	32,4	11,7	20,0	19,9	20,4	60,6	78,4	42,3	38,1	118,3	97,9	54,4	ada
3				165,2	164,0	123,8	33,2		20,1	20,0	20,5	61,4	81,5	42,4	38,1	123,6	105,0	55,4	
Masukan Generator; V= 230 volt, I =2,43 ampere																			
1				152,2	151,9	122,4	32,3		19,9	19,8	20,4	59,8	78,2	41,3	38,6	117,4	98,1	53,2	
2	102,0	0,14	270	160,2	159,0	125,3	33,7	12,5	20,0	20,0	20,6	61,3	80,4	41,5	38,7	120,6	100,9	54,0	ada
3				167,2	166,1	127,5	34,5		20,1	20,0	20,7	62,1	84,6	41,6	38,7	125,1	104,4	56,5	

### Lampiran-3 (lanjutan)

Data Eksperimen Terkoreksi.

Hari/ tgl : Rabu, 3 Okt '07

Konsentrasi larutan : 0,6

Temperatur ruangan : 28 °C

Masukan Generator; V= 170 volt, I=1,76 ampere																			R22 cair pada sign glass kel. Evap
No	Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1				133,2	132,3	85,9	31,0		20,0	19,8	20,1	43,1	54,8	36,2	32,7	80,6	83,1	44,8	
2	159,0	0,22	245	130,2	129,2	85,5	30,5	4,2	19,9	19,8	20,0	42,3	55,8	36,2	33,1	85,3	79,4	45,6	tidak ada
3				138,2	137,4	85,9	30,7		20,1	20,0	20,1	41,9	53,3	35,3	32,8	81,4	85,0	45,0	(shut down)
Masukan Generator; V= 180 volt, I=1,86 ampere																			
1				135,2	134,2	89,7	32,9		20,0	20,0	20,1	46,7	57,9	37,3	34,1	80,9	81,0	46,6	
2	175,0	0,24	245	133,2	132,1	91,6	32,8	4,9	19,9	19,9	20,0	42,5	55,5	35,7	33,8	82,2	78,9	47,3	ada sedikit
3				137,2	136,3	92,9	31,6		20,1	20,0	20,2	45,4	55,5	37,1	33,9	84,0	82,4	46,8	(shut down)
Masukan Generator; V= 190 volt, I=1,97 ampere																			
1				137,2	136,2	97,9	33,8		20,0	19,9	20,2	47,5	58,5	37,7	33,9	83,1	80,7	48,8	
2	189,0	0,25	248	136,2	135,4	96,6	32,7	6,1	20,1	20,0	20,3	44,5	59,9	35,9	33,7	94,0	82,8	47,2	ada sedikit
3				139,2	138,0	98,0	33,1		19,9	19,8	20,1	49,0	62,1	37,9	34,1	88,0	81,8	48,4	
Masukan Generator; V= 200 volt, I=2,07 ampere																			
1				137,2	136,3	96,5	35,0		19,9	19,8	20,2	50,0	65,3	38,6	34,9	91,0	84,3	48,1	
2	202,0	0,27	250	140,2	139,2	99,3	34,9	7,5	20,1	20,0	20,3	50,2	63,6	39,1	35,0	89,8	84,6	48,6	ada
3				135,2	134,2	98,8	35,4		20,0	19,9	20,3	49,9	62,3	39,2	35,1	92,0	82,9	49,4	
Masukan Generator; V= 210 volt, I=2,19 ampere																			
1				139,2	138,0	103,1	40,6		20,0	19,9	20,5	53,0	67,4	40,1	35,9	94,7	83,9	52,7	
2	176,0	0,24	250	140,2	139,1	102,7	42,4	9,2	20,1	20,0	20,6	54,6	69,8	40,2	35,9	96,6	83,5	52,6	ada
3				137,2	136,2	102,4	40,2		19,9	19,9	20,4	53,1	67,7	40,4	35,9	95,4	82,2	52,1	
Masukan Generator; V= 220 volt, I=2,31 ampere																			
1				145,7	144,8	113,2	46,3		19,9	19,8	20,6	53,3	68,1	39,3	34,8	97,8	85,1	56,4	
2	145,0	0,2	253	142,2	141,0	119,9	47,5	12,0	20,1	20,0	20,8	54,6	70,3	39,9	34,8	97,4	87,7	54,9	ada
3				144,2	142,8	114,0	45,8		20,0	19,9	20,7	53,3	68,3	39,9	35,0	95,2	87,3	56,4	

**Lampiran-3** (lanjutan). Data Eksperimen Terkoreksi.

Hari/ tgl : Minggu, 30 Sept '07

Konsentrasi larutan : 0,7

Temperatur ruangan : 28 °C

Masukan Generator; V= 150 volt, I =1,56 ampere																		R22 cair pada sign glass kel. Evap	
No	Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>		T <sub>15</sub>
1				115,2	114,5	81,9	31,0		19,7	19,7	20,0	37,6	38,4	34,0	29,8	48,9	77,2	35,8	
2	175,0	0,24	245	110,6	110,0	79,4	31,4	5,9	19,9	19,8	20,3	40,0	45,6	35,3	30,7	59,3	71,1	44,5	tidak ada
3				116,8	116,1	81,1	31,8		20,1	20,1	20,4	39,1	42,1	35,1	31,0	57,0	42,0	43,9	(shut down)
Masukan Generator; V= 160 volt, I =1,66 ampere																			
1				118,9	118,5	83,3	31,2		20,2	20,1	20,6	38,8	41,6	34,4	31,7	57,7	74,8	43,4	
2	180,5	0,25	248	117,2	116,6	82,0	31,5	7,0	20,0	20,0	20,4	39,0	42,7	34,9	31,4	59,2	72,4	44,7	tidak ada
3				113,2	112,5	80,3	32,6		19,9	19,8	20,3	70,8	47,0	36,0	31,3	62,7	71,5	45,4	(shut down)
Masukan Generator; V= 170 volt, I =1,76 ampere																			
1				109,8	109,2	82,2	36,1		20,0	20,0	20,2	42,1	47,9	37,0	32,2	64,6	70,3	47,1	
2	181,2	0,25	250	115,2	114,3	83,4	34,2	8,7	20,1	20,0	20,4	40,9	45,1	36,3	32,2	60,0	73,7	46,5	tidak ada
3				113,4	112,6	83,9	34,9		19,9	19,9	20,3	41,5	46,6	35,9	32,1	62,3	72,4	47,2	
Masukan Generator; V= 180 volt, I =1,86 ampere																			
1				109,3	108,8	83,8	38,8		19,9	19,9	20,3	42,1	49,6	37,5	32,7	67,5	74,2	47,4	
2	195,5	0,26	250	109,7	109,0	83,7	38,5	9,6	20,1	20,1	20,5	42,4	51,0	37,6	32,6	71,4	70,4	48,6	ada sedikit
3				110,2	109,5	84,2	38,9		20,0	20,0	20,6	43,0	50,4	38,0	32,9	70,7	70,3	48,4	
Masukan Generator; V= 190 volt, I =1,97 ampere																			
1				109,9	109,2	83,5	43,1		20,0	19,9	20,7	45,3	54,5	38,9	33,7	71,7	68,3	49,6	
2	165,6	0,22	260	111,4	110,8	83,8	41,6	12,3	20,1	20,0	20,8	45,0	53,6	38,6	33,8	73,3	69,3	49,6	ada
3				108,5	107,8	83,7	42,6		19,9	19,8	20,6	45,1	54,2	39,0	33,9	72,4	69,4	49,5	
Masukan Generator; V= 200 volt, I =2,07 ampere																			
1				107,3	106,7	85,1	46,0		20,0	19,9	20,8	47,4	57,2	39,8	34,8	77,4	70,3	50,7	
2	150,0	0,2	260	111,9	111,1	84,9	45,5	13,1	20,1	20,0	20,9	47,3	57,8	39,7	34,5	78,1	70,0	50,2	ada
3				112,6	112,0	84,4	45,6		20,0	20,0	20,8	47,7	58,2	39,7	34,7	77,9	70,2	50,2	
Masukan Generator; V= 220 volt, I =2,29 ampere																			
1				128,7	127,6	107,1	51,3		19,9	19,8	20,5	43,0	49,2	35,6	30,5	72,6	78,7	56,6	
2	110,1	0,15	260	130,3	129,4	109,8	52,0	13,6	20,1	20,0	20,8	43,1	48,9	35,6	30,8	73,3	79,3	57,2	ada
3				129,6	128,7	106,5	50,9		20,0	20,0	20,8	43,3	50,0	35,7	31,2	73,8	79,7	57,0	

### Lampiran-3 (lanjutan)

Data Eksperimen Terkoreksi.

Hari/ tgl : Minggu, 7 Okt '07

Konsentrasi larutan : 0,8  
Temperatur ruangan : 28 °C

Masukan Generator; V= 140 volt, I =1,43 ampere																			R22 cair pada sign glass kel. Evap
No	Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															
	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1				130,2	130,0	70,0	29,8		20,1	20,0	20,4	36,4	32,4	30,7	28,5	35,3	47,6	41,5	
2	132,8	0,18	250	140,2	139,3	62,7	30,1	9,0	19,9	19,8	20,2	35,8	31,6	30,5	28,6	35,3	45,8	42,9	ada
3				135,2	134,2	70,2	29,5		20,0	20,0	20,3	36,3	32,4	30,4	28,5	33,4	47,9	38,8	(shut down)
Masukan Generator; V= 150 volt, I =1,53 ampere																			
1				137,2	136,4	71,0	30,3		19,9	19,8	20,2	36,9	32,2	30,1	28,0	35,0	55,6	43,7	
2	148,2	0,2	250	135,9	134,8	70,5	30,2	9,4	20,0	19,9	20,3	36,2	31,9	30,4	28,2	34,1	55,2	45,3	ada
3				132,2	131,2	72,4	30,2		20,1	20,0	20,4	36,7	32,0	30,4	28,4	34,2	54,7	44,0	
Masukan Generator; V= 160 volt, I = 1,64 ampere																			
1				145,2	144,5	74,6	31,3		19,9	19,8	20,0	36,9	32,4	30,4	27,9	34,3	53,8	41,2	
2	143,5	0,19	250	143,2	142,3	74,6	34,0	11,5	20,0	19,9	20,3	36,7	32,2	30,2	27,9	35,9	52,2	50,1	ada
3				139,2	138,2	73,4	31,7		20,1	20,0	20,4	36,4	32,3	30,3	27,5	34,5	55,0	46,1	
Masukan Generator; V= 170 volt, I =1,73 ampere																			
1				125,2	124,2	80,1	39,6		19,9	19,8	20,3	35,4	32,0	29,9	26,3	35,9	57,8	48,6	
2	105,4	0,14	250	130,2	129,3	81,6	40,1	14,7	20,0	19,9	20,3	34,9	31,9	29,6	26,6	34,9	57,2	49,0	ada
3				135,2	134,1	80,0	38,2		20,1	20,0	20,4	34,5	31,9	30,2	26,8	35,8	57,3	49,6	



## Lampiran-4

Data Eksperimen Terkoreksi Rata-rata.

Hari/ tgl : Jumat, 5 Okt '07

Konsentrasi larutan : 0,5

Temperatur ruangan : 28 °C

No	Heater <sub>gen</sub>		Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															R22 cair pd sign glass kel. Evap
	V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1	190	1,98	106,0	0,14	250	150,2	149,1	111,9	30,3	8,5	20,0	19,9	20,3	47,4	56,3	34,8	32,6	101,3	98,7	39,5	Tidak ada (shut down)
2	200	2,10	110,0	0,15	250	144,2	143,1	110,5	31,5	8,7	20,0	20,0	20,4	51,1	70,8	38,3	35,0	116,5	99,1	43,2	Tidak ada
3	210	2,20	116,0	0,16	260	149,9	145,5	118,6	31,3	10,1	20,0	19,9	20,3	57,6	72,4	40,6	36,8	121,1	99,7	46,4	ada
4	220	2,31	108,0	0,15	265	157,9	156,8	121,9	32,4	11,7	20,0	19,9	20,4	60,5	78,7	42,3	38,1	119,4	99,8	54,0	ada
5	230	2,43	102,0	0,14	270	159,9	159,0	125,1	33,5	12,5	20,0	19,9	20,6	61,1	81,1	41,5	38,7	121,0	101,1	54,6	ada

#### Lampiran-4 (lanjutan)

Data Eksperimen Terkoreksi Rata-rata.

Hari/ tgl : Rabu, 3 Okt '07

Konsentrasi larutan : 0,6  
Temperatur ruangan : 28 °C

No	Heater <sub>gen</sub>		Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															R22 cair pd sign glass kel. Evap
	V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1	170	1,76	159,0	0,22	245	133,9	133,0	85,8	30,7	4,2	20,0	19,9	20,1	42,4	54,6	35,9	32,9	82,4	82,5	45,1	Tidak ada (shut down)
2	180	1,86	175,0	0,24	245	135,2	134,2	91,4	32,4	4,9	20,0	20,0	20,1	44,9	56,3	36,7	33,9	82,4	80,8	46,9	ada sedikit (shut down)
3	190	1,97	189,0	0,25	248	137,5	136,5	97,5	33,2	6,1	20,0	19,9	20,2	47,0	60,2	37,2	33,9	88,4	81,8	48,1	ada sedikit
4	200	2,07	202,0	0,27	250	137,5	136,6	98,2	35,1	7,5	20,0	19,9	20,3	50,0	63,7	39,0	35,0	90,9	83,9	48,7	ada
5	210	2,19	176,0	0,24	250	138,9	137,8	102,7	41,1	9,2	20,0	19,9	20,5	53,6	68,3	40,2	35,9	95,6	83,2	52,5	ada
6	220	2,31	145,0	0,20	253	144,0	142,9	115,7	46,5	12,0	20,0	19,9	20,7	53,7	68,9	39,7	34,9	96,8	86,7	55,9	ada

#### Lampiran-4 (lanjutan)

Data Eksperimen Terkoreksi Rata-rata.

Hari/ tgl : Minggu, 30 Sept '07

Konsentrasi larutan : 0,7

Temperatur ruangan : 28 °C

No	Heater <sub>gen</sub>		Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															R22 cair pd sign glass kel. Evap
	V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1	150	1,56	175,0	0,24	245	114,2	113,5	80,8	31,4	5,9	19,9	19,9	20,2	38,9	42,0	34,8	30,5	55,1	63,4	41,4	Tidak ada (shut down)
2	160	1,66	180,5	0,25	248	116,4	115,9	81,9	31,8	7,0	20,2	20,0	20,4	49,5	43,8	35,1	31,5	59,9	72,9	44,5	Tidak ada (shut down)
3	170	1,76	181,2	0,25	250	112,8	112,0	83,2	35,1	8,7	20,0	20,0	20,3	41,5	46,5	36,4	32,2	62,3	72,1	46,9	Tidak ada
4	180	1,86	195,5	0,26	250	109,7	109,1	83,9	38,7	9,6	20,0	20,0	20,5	42,5	50,3	37,7	32,7	69,9	71,6	48,1	ada sedikit
5	190	1,97	165,6	0,22	260	109,9	109,3	83,7	42,4	12,3	20,0	19,9	20,7	45,1	54,1	38,8	33,8	72,5	69,0	49,6	ada
6	200	2,07	150,0	0,20	260	110,6	109,9	84,8	45,7	13,1	20,0	20,0	20,8	47,5	57,7	39,7	34,7	77,8	70,2	50,4	ada
7	220	2,29	110,1	0,15	260	129,5	128,6	107,8	51,4	13,6	19,9	19,9	20,7	43,1	49,4	35,6	30,8	73,2	79,2	56,9	ada

#### Lampiran-4 (lanjutan)

Data Eksperimen Terkoreksi Rata-rata.

Hari/ tgl : Minggu, 7 Okt '07

Konsentrasi larutan : 0,8  
Temperatur ruangan : 28 °C

No	Heater <sub>gen</sub>		Heater <sub>evap</sub>		P <sub>sys</sub> (psig)	Temperatur (°C)															R22 cair pd sign glass kel. Evap
	V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>	T <sub>11</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>15</sub>	
1	140	1,43	132,8	0,18	250	135,2	134,5	67,6	29,8	9,0	20,0	19,9	20,3	36,2	32,1	30,5	28,5	34,7	47,1	41,1	ada (shut down)
2	150	1,53	148,2	0,20	250	135,1	134,1	71,3	30,2	9,4	20,0	19,9	20,3	36,6	32,0	30,3	28,2	34,4	55,2	44,3	ada
3	160	1,64	143,5	0,19	250	142,5	141,7	74,2	32,3	11,5	20,0	19,9	20,2	36,7	32,3	30,3	27,8	34,9	53,7	45,8	ada
4	170	1,73	105,4	0,14	250	130,2	129,2	80,6	39,3	14,7	20,0	19,9	20,3	34,9	31,9	29,9	26,6	35,5	57,4	49,1	ada

## Lampiran-5

### Hasil Perhitungan

Konsentrasi Larutan : 0,5  
 Temperatur Ruangan : 28 °C

No	$V_{\text{heater gen}}$	Tekanan sistem (P)			$Q_{\text{gen}}$	$Q_{\text{evap}}$	$\xi_{a,2}$	$h_{s, 14}$	$h_{s, 2}$	$h_{\text{ref},g,2}$	$m_{\text{rich},s,14}$	$m_{\text{ref},2}$	$m_{w,s,2}$	CR	COP
	volt	psig	psia	bar	watt	watt		kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	gram/s	gram/s	gram/s		
1	190	250	264,7	18,25	376,2	14,8	0,393	383,75	507,70	508,03	3,03	0,53	2,50	5,67	0,04
2	200	250	264,7	18,25	420,0	16,5	0,420	384,59	495,90	503,10	3,74	0,52	3,22	7,25	0,04
3	210	260	274,7	18,94	462,0	18,6	0,423	386,56	500,19	504,62	4,04	0,54	3,50	7,49	0,04
4	220	265	279,7	19,28	508,2	16,2	0,378	386,84	522,84	513,68	3,79	0,74	3,04	5,10	0,03
5	230	270	284,7	19,63	558,9	14,3	0,377	390,54	527,15	515,27	4,16	0,82	3,34	5,07	0,03

## Lampiran-5 (lanjutan)

### Hasil Perhitungan

Konsentrasi Larutan : 0,6  
 Temperatur Ruangan : 28 °C

No	$V_{\text{heater gen}}$	Tekanan sistem (P)			$Q_{\text{gen}}$	$Q_{\text{evap}}$	$\xi_{a,2}$	$h_{s, 14}$	$h_{s, 2}$	$h_{\text{ref},g,2}$	$m_{\text{rich},s,14}$	$m_{\text{ref},2}$	$m_{w,s,2}$	CR	COP
	volt	psig	psia	bar	watt	watt		kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	gram/s	gram/s	gram/s		
1	170	245	259,7	17,91	299,2	35,0	0,459	336,90	498,66	494,99	1,86	0,48	1,38	3,84	0,12
2	180	245	259,7	17,91	334,8	42,0	0,454	332,74	500,80	495,99	2,01	0,54	1,47	3,74	0,13
3	190	248	262,7	18,11	374,3	47,3	0,446	335,18	504,94	497,74	2,23	0,62	1,61	3,60	0,13
4	200	250	264,7	18,25	414,0	54,5	0,450	340,39	505,22	497,73	2,54	0,69	1,85	3,67	0,13
5	210	250	264,7	18,25	459,9	42,2	0,445	338,64	507,41	498,72	2,76	0,77	1,99	3,58	0,09
6	220	253	267,7	18,46	508,2	29,0	0,424	347,53	516,87	502,80	3,08	0,94	2,14	3,27	0,06

## Lampiran-5 (lanjutan)

### Hasil Perhitungan

Konsentrasi Larutan : 0,7  
 Temperatur Ruangan : 28 °C

No	$V_{\text{heater gen}}$	Tekanan sistem (P)			$Q_{\text{gen}}$	$Q_{\text{evap}}$	$\xi_{a,2}$	$h_{s, 14}$	$h_{s, 2}$	$h_{\text{ref},g,2}$	$m_{\text{rich},s,14}$	$m_{\text{ref},2}$	$m_{w,s,2}$	CR	COP
	volt	psig	psia	bar	watt	watt		kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	gram/s	gram/s	gram/s		
1	150	245	259,7	17,91	234,0	42,0	0,566	291,15	468,04	478,63	1,30	0,40	0,90	3,24	0,18
2	160	248	262,7	18,11	265,6	45,1	0,568	311,03	472,34	480,48	1,62	0,50	1,13	3,27	0,17
3	170	250	264,7	18,25	299,2	45,3	0,563	309,24	464,99	477,04	1,88	0,59	1,29	3,19	0,15
4	180	250	264,7	18,25	334,8	50,8	0,552	308,14	459,10	474,57	2,15	0,71	1,44	3,03	0,15
5	190	260	274,7	18,94	374,3	36,4	0,543	302,52	458,49	474,09	2,32	0,80	1,52	2,91	0,10
6	200	260	274,7	18,94	414,0	30,0	0,529	305,08	458,67	474,61	2,60	0,94	1,65	2,75	0,07
7	220	260	274,7	18,94	503,8	16,5	0,505	325,83	491,74	490,52	3,05	1,20	1,85	2,54	0,03

## Lampiran-5 (lanjutan)

### Hasil Perhitungan

Konsentrasi Larutan : 0,8  
 Temperatur Ruangan : 28 °C

No	V <sub>heater gen</sub>	Tekanan sistem (P)			Q <sub>gen</sub>	Q <sub>evap</sub>	$\xi_{a,2}$	h <sub>s, 14</sub>	h <sub>s, 2</sub>	h <sub>ref,g,2</sub>	m <sub>rich,s,14</sub>	m <sub>ref,2</sub>	m <sub>w,s,2</sub>	CR	COP
	volt	psig	psia	bar	watt	watt		kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	gram/s	gram/s	gram/s		
1	140	250	264,7	18,25	200,2	23,9	0,460	262,09	501,47	495,98	0,85	0,53	0,31	1,59	0,12
2	150	250	264,7	18,25	229,5	29,6	0,461	274,65	500,73	495,65	1,03	0,65	0,38	1,59	0,13
3	160	250	264,7	18,25	262,4	27,3	0,427	272,15	514,61	501,95	1,12	0,73	0,39	1,54	0,10
4	170	250	264,7	18,25	294,1	14,8	0,485	278,47	492,27	491,56	1,38	0,84	0,54	1,63	0,05



## Lampiran-6

Konstanta Untuk Persamaan 2.39 sampai persamaan 2.44

Konstanta untuk persamaan 2.39 dan 2.44

Coeff.	R22-DMF	R22-DMETEG	R22-DMEDEG	
$A_0$	0.6513005E+01	-0.3055194E+02	0.5266711E+02	$E_0 = 0.20972706E+03$
$A_1$	0.1167437E+02	0.1715593E+02	0.6595212E+00	
$A_2$	0.1747752E+02	0.3455330E+01	-0.3899815E+01	$E_1 = -0.77382052E+04$
$A_3$	0.0	-0.2260165E+01	-0.1135981E+02	
$A_4$	0.0	0.0	0.0	
$B_0$	-0.1817206E+04	0.1548290E+00	-0.5202060E+04	$E_2 = 0.05627680E+00$
$B_1$	-0.4302679E+04	-0.5501963E-01	-0.7389477E+03	
$B_2$	0.9877574E+04	-0.3732812E-01	0.5617743E+04	$E_3 = -0.34790000E+02.$
$B_3$	0.0	0.7183949E-02	-0.3411698E+04	
$C_0$	-0.1355858E+06	-0.1901107E-03	0.0	
$C_1$	0.6257979E+06	0.7757965E-04	0.0	
$C_2$	-0.1435546E+07	0.2816656E-04	0.0	
$C_3$	0.0	0.1405272E-04	0.0	
$D_0$	0.0	0.0	-0.6485405E+01	
$D_1$	0.0	0.0	0.1764033E+01	
$D_2$	0.0	0.0	-0.3557847E+01	
$D_3$	0.0	0.0	0.4241893E+01	
$a$	-1.0	1.0	-1.0	
$b$	-2.0	2.0	0.0	
$TR$	310:394	273:363	273:373	
$XR$	0.2:0.7	0.2:1.0	0.14:0.85	
$PR$	0.0:20.0	0.0:46.0	0.0:50.0	
$CC$	0.999	0.996	0.999	
%Error	2.112	1.440	2.204	

Konstanta untuk persamaan 2.40 dan 2.41

Coeff.	Saturated liquid		Saturated vapour	
$F_0$	-0.6814840E+02	0.1966645E+04	0.3722971E+02	-0.2720182E+04
$F_1$	0.0631300E+00	-0.1209784E+02	0.1599520E+01	0.1811784E+02
$F_2$	0.0020200E+00	0.2018352E-01	-0.2260308E-02	-0.2699451E-01
$TR$	253.15:323.15	323.15:368.15	253.15:323.15	323.15:368.15
$CC$	0.998	0.997	0.998	0.977
%Error	0.376	0.436	0.037	0.455

Reference enthalpy = 100 kJ kg<sup>-1</sup> for liquid at 273.15 K.

Konstanta untuk persamaan 2.42

Constant	Value
$G_0$	0.1790624E+03
$G_1$	0.4129627E+00
$G_2$	0.3690196E-03
$G_3$	-0.1130278E+02
$G_4$	0.4497850E-01
$G_5$	-0.4677046E-04
$PR$	9.065:24.26
$CC$	0.9998
%Error	0.0647

Range of validity:  $\Delta T_{\text{vap}}$  up to 100°C.

Reference enthalpy: 100 kJ kg<sup>-1</sup> for liquid at 273.15 K.

## Lampiran-6 (lanjutan)

Konstanta untuk persamaan 2.40 dan 2.41

Coeff.	DMF	DMETEG	NMP	DMETrEG	DMA	DMEDEG
$F_0$	-0.3522493E+03	-0.3333408E+03	-0.2525563E+03	-0.4153019E+03	-0.3438173E+03	-0.4148704E+03
$F_1$	0.1317081E+01	0.1299057E+01	0.9247983E+00	0.1720001E+01	0.1301697E+01	0.1718805E+01
$F_2$	0.1239553E-02	0.1053050E-02	0.1340178E-02	0.6099064E-03	0.1182902E-02	0.6100733E-03
$CC$	1.00001	1.00001	1.00000	1.00002	1.00001	1.00002
%Error	0.00168	0.02347	0.01709	0.00880	0.00103	0.04985

Reference enthalpy = 100.0 kJ kg<sup>-1</sup> for liquid at 273.15 K.

## Lampiran-7

Data Tekanan Uap dari Campuran R22-DMF (bar)

R22 (wt%)		0.0	10.0	23.076	32.0	40.348	50.0	60.22	70.0	80.0	90.0	100.0
Temperature (K)	Mole fraction R22	0.0	0.0858	0.2022	0.2845	0.3637	0.4580	0.5612	0.6635	0.7717	0.8838	1.0
248.15			0.127	0.200	0.301	0.408	0.523	0.624	0.844	1.225	1.808	2.058
253.15			0.155	0.230	0.423	0.519	0.610	0.768	1.108	1.556	2.009	2.509
263.15			0.216	0.318	0.549	0.712	0.902	1.127	1.529	2.345	3.002	3.630
273.15			0.281	0.448	0.734	0.973	1.317	1.612	2.157	3.245	4.377	5.098
283.15			0.368	0.633	0.987	1.312	1.851	2.214	2.723	4.512	6.038	6.988
293.15			0.480	0.775	1.342	1.544	2.424	2.947	3.244	5.894	8.003	9.346
303.15			0.620	1.030	1.745	1.962	3.060	3.560	4.789	7.754	10.203	12.255
313.15	0.014	0.834	1.392	2.247	2.614	3.796	4.159	5.591	9.834	12.724	15.783	
323.15	0.024	0.998	1.709	2.783	3.336	4.816	5.114	7.020	12.114			
333.15	0.039	1.187	2.154	3.416	4.260	6.026	6.461	8.295	15.403			
343.15	0.063	1.405	2.756	4.318	5.349	7.619	8.310	10.194				
353.15	0.099	1.511	3.319	5.180	6.375	8.367	9.846	11.909				
363.15	0.148	1.793	3.906	6.178	7.380	10.030	11.703	14.032				
373.15	0.209	2.033	4.395	7.309	8.893	11.780	13.760					
383.15	0.296	2.374	5.269	8.488	10.407	13.820						
393.15	0.405	2.843	5.954	9.667	12.050							

Sumber: Agarwal, 1982



## **BIOGRAFI PENULIS**

I Nengah Ardita, lahir pada tanggal; 30 Nopember 1964, di sebuah desa kecil “Rejasa”, Tabanan-Bali, dari pasangan I Ketut Sumersa dan Ni Nyoman Getri. Masa kecil dihabiskan di desa nan indah. Memasuki jenjang pendidikan SMP-1 di Penebel tahun 1977, SMA-1 Tabanan tahun 1981 dan jenjang perguruan tinggi tahun 1984 tapi tidak berlanjut. Pada tahun 1985 melanjutkan pendidikan di

Politeknik PEDC Bandung, selesai tahun 1989, dan langsung sebagai staf pengajar di Politeknik Udayana-Bali. Tahun 1992 mendapat kesempatan untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang S-1 di Universitas Diponegoro, Semarang. Setelah selesai tahun 1996, kembali sebagai staf pengajar di Politeknik Udayana-Bali yang sekarang dikenal dengan Politeknik Negeri Bali, sampai sekarang. Pada tahun 2005, penulis kembali mendapat kesempatan untuk melanjutkan pendidikan ke jenjang S-2 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.